



António José Correia Caetano Gueifão Carrilho

Licenciado em Ciências de Engenharia do Ambiente

Diferenças de produtividade em povoamentos de sobreiro – relação com a Temperatura e Humidade do solo

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia do Ambiente, Perfil de Engenharia de Sistemas Ambientais

Orientadora: Doutora Maria Teresa Calvão Rodrigues,
Professora Auxiliar, Faculdade de Ciências e
Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Co-orientadora: Engenheira Silvicultora Maria Fernanda Calvão Rodrigues, Instituto da
Conservação da Natureza e das Florestas

Júri:

Presidente: Prof. Doutor António Manuel Fernandes Rodrigues

Arguente(s): Prof. Doutor António Manuel Fernandes Rodrigues

Vogal(ais): Prof.^a Doutora Maria Luísa Faria de Castro Castro e Lemos



**FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA**

Junho, 2019

Diferenças de produtividade em povoamentos de sobreiro – relação com a Temperatura e Humidade do solo.

Copyright © António José Correia Caetano Gueifão Carrilho, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

Em primeiro lugar o meu enorme agradecimento à professora Teresa Calvão por toda a paciência que teve comigo e por toda a ajuda prestada ao longo desta jornada, sem a qual teria sido impossível realizar esta tese.

Deixar também um grande agradecimento à Eng^a Fernanda Calvão pelo auxílio quer no campo, quer na disponibilização de dados e bibliografia.

Ao Prof. Peter Surovry da Universidade de Praga pela cedência das imagens de drone.

Um agradecimento especial a toda a equipa da Hidrosoph, nomeadamente à Eng^a Sandra Pires, Eng^a Cassandra Carvalho e Eng^o José Almeida, pela cedência do material de campo sem o qual teria sido impossível realizar este trabalho e também pelas horas despendidas a auxiliarem-me.

Aos proprietários da Herdade da Carneira, em especial ao Eng^o Carlos Mira pela disponibilização do terreno para o estudo.

A todos os amigos que fiz durante o meu percurso na FCT, mas em especial, ao João Galego por toda a ajuda e eterna paciência ao longo destes anos.

Aos meus afilhados e à Luzia dos Reis por me terem ajudado a crescer.

Ao Gonçalo Carneiro, André Nunes, José Nunes, André Figueiredo, Ricardo Gouveia, Sofia Criulean, Inês Pires e Joana Silva pela jornada feita.

A todos os amigos que fiz durante os anos tanto na AEFCT como no CP, mas especialmente à Iris Fidalgo e Joana Rocha por todos os momentos passados e pela paciência que sempre tiveram comigo.

Aos meus eternos colegas de casa Mariana Simões e Marcelo Morais pelos conselhos.

À Mariana Machado por todo o apoio nesta fase final.

À minha família, em especial ao meu Pai e ao meu Avô por tudo o que sou agora e pelas oportunidades dadas.

Por último agradecer às três mulheres da minha vida, que fizeram de mim aquilo que sou hoje e sempre se esforçaram para que nada me faltasse: à minha Avó, à minha tia Edite e em especial à minha Mãe.

Resumo

Em Portugal os sistemas florestais com base no sobreiro têm uma grande importância a nível económico, social e ecológico. Os Sobreiros integram dois tipos diferentes de sistemas florestais: os montados de sobreiro e os povoamentos de sobreiro. Independentemente do tipo de sistema em que estão integrados, os sobreiros são explorados com vista à produção de cortiça. Neste contexto, torna-se de extrema importância conseguir determinar os locais que permitirão um crescimento mais rápido dos sobreiros e de forma saudável. Estas melhores condições estarão relacionadas com parâmetros locais, nomeadamente edáficos e climáticos.

Neste trabalho tentou-se determinar as causas para a grande diferença a nível da mortalidade e produtividade de sobreiros de duas parcelas do mesmo povoamento florestal distantes de apenas 300 m, mas situadas em condições topográficas diferentes, embora à partida com iguais condições climáticas e edáficas. Para tal foram monitorizados dados de temperatura e humidade do solo ao longo de cinco meses através de sondas colocadas a várias profundidades. Foram medidos vários parâmetros dendrométricos nas árvores das duas parcelas e determinada a biomassa. Foi investigada a existência de diferenças significativas dos valores destes parâmetros nas duas parcelas. Foram calculados vários índices espectrais de vegetação para as duas parcelas, com base numa imagem do satélite Sentinel-2.

Os resultados indicam uma maior produtividade da parcela 1, que poderá, muito provavelmente, estar relacionada com fatores edáficos. As árvores da parcela 2 apresentam maior mortalidade e muito menor crescimento, possivelmente devido à existência de uma camada de solo dura que dificulta o crescimento das raízes e que não favorece a permeabilidade do solo. Os dados obtidos pelas sondas não conseguiram ajudar na interpretação da diferença a nível de desenvolvimento, muito provavelmente devido ao facto de a preparação do terreno para a plantação ter alterado a microtopografia do local. Assim, será muito importante, no futuro, o desenvolvimento do estudo do solo ao longo da encosta por forma a esclarecer a relação entre as condições edáficas e o desenvolvimento das árvores.

Palavras-chave: Sobreiro; Temperatura; Humidade; Solo

Abstract

In Portugal cork oak tree forest systems have a huge significance at economic, social and ecological level. Cork oaks integrate two different forest systems. Regardless of the type of system in which they are integrated, cork oaks are mostly explored bearing in mind the production of cork. In this context, it's vital to be able to determine the most favorable locations for the quickest growth. The best factors for this quick growth are related with local parameters, like pedological and climatic.

This thesis tried to determine the causes for the great difference in mortality and productivity of cork oaks in two parcels of the same population, distancing only 300 m from one another but in different topographic conditions. Soil moisture and temperature data were monitored at different depths for 5 months. Dendrometry parameters in trees on both parcels were registered. Using satellite images from Sentinel-2, NDVI and SAVI index were calculated.

The results indicate a greater productivity in parcel 1 of the terrain, which is most likely linked with pedological factors. The trees in parcel 2 have a much higher death rate and lower development, possibly due to the existence of a hard soil layer which makes root penetration and growth difficult. The data extracted from the probs didn't help in the interpretation of the development levels of the two parcels, probably because when the terrain was prepped to receive the plantation it suffered micro-topographic changes. Therefore, it's of utmost importance that future work developed in this area should focus on the study of the soil along the hillside and try to determine the relation between the pedologic factors and the tree evolution.

Keywords: Cork oak tree, Oak forest, Temperature, Moisture; Soil.

ÍNDICE DE MATÉRIAS

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. ENQUADRAMENTO.....	1
1.2. OBJETIVOS	1
1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. MONTADO DE SOBRO.....	3
2.1.1. <i>Paisagem</i>	3
2.1.2. <i>Morfologia do sobreiro</i>	4
2.1.3. <i>Declínio do montado</i>	5
2.2. HUMIDADE	6
2.3. TEMPERATURA.....	7
3. METODOLOGIA.....	8
3.1. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	8
3.2. MÉTODOS.....	12
3.2.1. <i>Obtenção dos dados</i>	12
3.2.2. <i>Tratamento e análise dos dados obtidos</i>	17
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
4.1. DADOS OBTIDOS	19
4.2. RESULTADOS DAS IMAGENS VIA DETEÇÃO REMOTA	28
4.3. TESTES ESTATÍSTICOS.....	29
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	33
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

Índice de Figuras

Figura 1 - Sobreiro na área em estudo	4
Figura 2 - Interações entre o montado de sobreiro e vários fatores ambientais e sociais	6
Figura 3 - Localização da área de estudo.....	8
Figura 4 - Altitude da zona envolvente à área de estudo (aproximadamente 30 m de resolução espacial).	9
Figura 5 - Diagrama termopluviométrico do concelho de Borba.	10
Figura 6 – Altitude da área de estudo.....	11
Figura 7 – Declive da área de estudo, obtido com base no ficheiro da altitude adquirido por drone.....	11
Figura 8 - Imagem de satélite da área de estudo, podendo observar-se a variação da densidade do coberto arbóreo.....	12
Figura 9 - Localização das sondas na área de estudo.	14
Figura 10 - Modelo 3D de relevo, exagero vertical de 5.	15
Figura 11- Variáveis dendrométricas ao nível da árvore recolhidas em campo.....	16
Figura 12- Comparação dos valores da média semanal da Precipitação com a média semanal de Evapotranspiração.....	20
Figura 13- Comparação dos valores da média acumulada de precipitação e média acumulada de evapotranspiração	21
Figura 14- Resultados de humidade relativa na Sonda FCT01.....	21
Figura 15- Resultados de temperatura na Sonda FCT01	22
Figura 16- Resultados de humidade relativa na Sonda FCT02.....	23
Figura 17- Resultados de temperatura na Sonda FCT02.....	23
Figura 18 - Resultados de temperatura a 10 centímetros de profundidade	24
Figura 19- Resultados de humidade relativa a 10 centímetros de profundidade	25
Figura 20- Resultados de temperatura a 20 centímetros de profundidade	25
Figura 21 - Resultados de humidade relativa a 20 centímetros de profundidade	26
Figura 22 - Resultados de humidade relativa a 30 centímetros de profundidade	26
Figura 23 - Resultados de temperatura a 30 centímetros de profundidade	27
Figura 24 - Resultados de humidade relativa a 40 centímetros de profundidade	28
Figura 25 - Resultados de temperatura a 40 centímetros de profundidade	28
Figura 26 - Teste de Mann-Whitney para o PAP	30
Figura 27 - Teste de Mann-Whitney para a Altura de fuste	31
Figura 28 - Teste de Mann-Whitney para a AC	31
Figura 29 - Teste de Mann-Whitney para a Biomassa total.....	32

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Representatividade (%) das várias classes de declive.....	12
Tabela 2 - Bandas espectrais do <i>Sentinel 2</i>	17
Tabela 3 - Equações utilizadas na estimação da biomassa referentes ao sobreiro.	18
Tabela 4 - Resultados de NDVI para ambas as parcelas.....	29
Tabela 5 - Resultados de SAVI para ambas as parcelas.	29
Tabela 6 - Dados dendrométricos.....	38

Abreviaturas e Acrónimos

ESA	European Space Agency – Agência Espacial Europeia
EEA	European Environmental Agency – Agência Europeia do Ambiente
MSI	MultiSpectral Instrument
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index – Índice de Vegetação por Diferença Normalizado
NIR	Near Infrared – Infravermelho próximo
PAP	Perímetro à Altura do Peito
SAVI	Soil Adjusted Vegetation Index – Índice de Vegetação Ajustado ao Solo
SWIR	Short-Wavelength Infrared – Infravermelho de ondas curtas
UE	União Europeia

1. Introdução

1.1. Enquadramento

Em Portugal os sistemas florestais com base no sobreiro têm uma grande importância a nível económico e social. Além disso, fornecem um conjunto de importantes serviços ecológicos como a fixação do carbono, a purificação da água e regulação do ciclo hidrológico, a prevenção da erosão do solo e habitat de diversas espécies (Pinto-Correia *et al.*, 2013).

Os sobreiros integram dois tipos de sistemas florestais. Um sistema, designado por montado, é caracterizado pela multifuncionalidade, no qual uma cultura arbórea está associada a culturas agrícolas em sub-coberto e/ou exploração de gado. O outro sistema é um sistema monofuncional, com uma marcada utilização florestal, caracterizado por uma floresta densa, medianamente alta. Este último sistema toma a designação de sobreiral ou simplesmente povoamento de sobreiro (Costa e Pereira, 2007). Neste sistema, o estrato arbustivo pode crescer até atingir um porte elevado e não há nem componente pecuária nem agrícola. No entanto, a sua exploração é compatível, em muitos casos, com atividades como a caça, a apicultura, a apanha de cogumelos ou de ervas aromáticas (Pinto-Correia *et al.*, 2013; Bugalho, 2009; ERENA *et al.*, 2008).

A maioria dos sobreiros faz parte de sistemas de montado de sobreiro que representam, atualmente, cerca de 70% da área total. O montado ocupa aproximadamente 737 000 hectares do território nacional, cerca de 70% dos quais se situam na região do Alentejo (Costa e Pereira, 2007; Kaltenbach, 2007).

Quer os montados de sobreiro quer os povoamentos de sobreiro constituem sistemas artificiais, criados pela intervenção humana continuada (Natividade, 1950). No entanto, os montados são sistemas profundamente intervencionados, pois neles ocorre um conjunto de atividades, muitas delas intensivas, como é o caso das culturas agrícolas ou da exploração de gado.

Independentemente do tipo de sistema em que está integrado, o sobreiro é explorado essencialmente com vista à produção de cortiça. Nos últimos tempos, a importância económica deste produto tem vindo a aumentar. Como consequência, os sistemas de sobreiro tendem a modificar-se, gradualmente, em sistemas monofuncionais, geridos essencialmente para aumentar a produtividade da cortiça (Costa e Pereira, 2007). Neste contexto, torna-se de extrema importância a determinação dos locais que permitirão um crescimento mais rápido e saudável dos sobreiros, o que proporcionará a obtenção de uma produtividade mais elevada da cortiça. Estas melhores condições estarão, em muitos casos, relacionadas com parâmetros locais, nomeadamente edáficos e climáticos.

1.2. Objetivos

Esta tese teve como objetivo a determinação das causas para a grande diferença a nível da mortalidade e produtividade de sobreiros de duas parcelas do mesmo povoamento florestal distantes de apenas 300 m, mas situadas em condições topográficas diferentes.

Para tal foram monitorizados dados de temperatura e humidade do solo, parâmetros que têm um papel fundamental para o desenvolvimento das árvores (Padilla e Pugnaire, 2007; McMichael e Burke, 1998; Kaspar e Bland, 1992; Kätterer *et al.*, 1995).

1.3. Estrutura da dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em seis capítulos:

No primeiro capítulo é feito o enquadramento, a apresentação da estrutura da tese e os objetivos da mesma.

O segundo capítulo apresenta a revisão de outros trabalhos feitos em redor das temáticas abordadas durante a tese. Inicialmente o foco são os montados e sistemas florestais de sobreiro. Incide-se depois na morfologia do sobreiro e por fim no declínio destes sistemas. Seguidamente, passamos a uma revisão dos conceitos de humidade e temperatura no solo e à forma como influenciam o desenvolvimento de espécies vegetais. Por fim, é mostrada a pesquisa feita sobre os aspetos de interesse para este trabalho no tópico da deteção remota.

O terceiro capítulo foca-se na metodologia de aquisição e tratamento dos dados e na validação dos resultados obtidos com recurso ao tratamento estatístico dos dados. Engloba por isso os métodos de obtenção de dados e o seu tratamento.

No quarto capítulo são apresentados os resultados e a discussão dos mesmos nas vertentes dos dados obtidos através das sondas instaladas, dos dados dendrométricos obtidos no campo e dos dados desenvolvidos através de deteção remota.

No quinto capítulo são apresentadas as conclusões tiradas do trabalho realizado e feitas recomendações para trabalhos futuros acerca do mesmo tema.

No sexto e último capítulo é apresentada a bibliografia, com toda a literatura recolhida para a realização do trabalho.

2. Revisão bibliográfica

2.1. Montado de sobro

2.1.1. Paisagem

A bacia do Mediterrâneo assistiu, ao longo dos últimos 10 000 anos, a uma coevolução entre as sociedades humanas e os ecossistemas naturais, o que originou a criação de paisagens com grande valor cultural e elevada diversidade. Entre estas interações encontram-se a domesticação de espécies vegetais e animais, o controlo de cursos de água, a implementação de métodos de rega, bem como queimadas controladas. Estas modificações na paisagem deram origem a mudanças na diversidade e funcionamento dos ecossistemas, criando ecossistemas antrópicos, em alguns casos, sustentáveis (Bugalho, 2009; Ribas, 2011).

Segundo a Agência Europeia do Ambiente (EEA), o sistema dos montados é caracterizado por uma paisagem em que terra cultivada, terrenos de pastagem e vegetação arbustiva tipicamente mediterrânica, são sombreados por uma variedade de carvalhos nativos da região em sistemas de densidade arbórea variável. Existem, por isso, muitas gradações para este tipo de sistemas. A designação dada pelo Livro Verde do Montado é de um sistema silvo pastoril, um conjunto heterogéneo de sistemas de produção florestal não lenhosa, com base na exploração de carvalhos, em maioria sobreiro (*Quercus suber*) e azinheira (*Quercus rotundifolia*), em conjugação com uma utilização não intensiva do solo sob o coberto com propósitos agrícolas, pecuários ou cinegéticos (EEA, 2005; ICNF, 2013; Pinto-Correia *et al.*, 2013).

O montado de sobro cobre cerca de 737 mil hectares do território português e representa o principal uso na região do Alentejo, segundo dados do Relatório preliminar do 6º Inventário Florestal Nacional (Costa e Pereira, 2007; ICNF, 2013).

O montado tradicional, quando bem gerido, é um ecossistema que apresenta uma estabilidade e biodiversidade notáveis, com uma produtividade elevada a longo prazo. É um sistema agro-silvo-pastoral que combina diversos tipos de uso da terra, recursos e métodos de produção para obtenção de uma grande diversidade de produtos, quer da floresta, da agricultura ou de pasto para animais (Ribas, 2011; Pinto-Correia *et al.*, 2011).

Atualmente o produto do montado com maior importância a nível económico é a exploração de cortiça seguida da produção de carne. De facto, o montado pode coexistir com a exploração pecuária, podendo o gado ser mantido quase ou exclusivamente de produtos do montado ou de colheitas que se insiram no sistema, como o trigo, aveia e outros produtos que são cultivados em culturas anuais ou peri-anuais (Bugalho, 2009; ERENA *et al.*, 2008). Até há poucas décadas existia também a produção de cereais para consumo humano, mas hoje em dia grande parte desta produção destina-se ao consumo pelo gado (Surová e Pinto-Correia, 2008). No entanto, o número de animais deve ser adaptado à capacidade do sistema em se regenerar, caso contrário pode haver perda da sustentabilidade, ocorrendo então degradação com perda de muitas funções e produtos (Ribas, 2011).

O montado de sobro constitui um *hotspot* para plantas ornamentais e fitoterapêuticas, facto que pode ser de grande importância para a economia local (Bugalho, 2009).

Mais recentemente, o montado tem tido procura como local de lazer em virtude da sua estética e da possibilidade de atividades como a observação da fauna e passeio (Surová e Pinto-Correia, 2008).

Devido à diversidade de *habitats* que este ecossistema pode oferecer, o montado de sobro é protegido pela Diretiva Europeia Habitats (Diretiva 92/43/CEE). No montado podem ser observadas várias espécies protegidas como a águia imperial (*Aquila adalberti*), o abutre preto (*Aegyps monachus*) e o lince ibérico (*Lynx pardina*), além de outras quase 100 espécies elencadas nos anexos da diretiva Europeia Aves (Diretiva 2009/147/CE), sendo que muitas destas espécies só podem ser observadas neste ecossistema (Branco *et al.*, 2010).

O montado apresenta, assim, uma enorme variedade de funções sociais para as populações locais, podendo ser utilizado quer por agricultores e criadores de gado, quer por caçadores, apicultores e criadores de cogumelos (Surová e Pinto-Correia, 2008).

Segundo Pereira (2011), o montado apresenta, também, grande importância como sumidouro de carbono: cerca de 120 g C/m². A maior parte dos sistemas florestais são caracterizados pelo facto de o maior valor de exploração residir na madeira, o que significa que, assim que a exploração chega ao seu termo, o ecossistema é destruído. No entanto, tal não se verifica com o montado. Neste sistema a principal fonte de rendimento reside na cortiça e, se a sua extração for bem feita, o sistema praticamente não sofre alterações.

Este tipo de exploração de recursos florestais é, no entanto, um setor envelhecido, uma vez que mais de metade dos proprietários são reformados com idades superiores a 60 anos. Além disso, a maioria das explorações não conta com nenhum apoio técnico, e as restantes subsistem de apoio dos gabinetes técnicos das Associações de Produtores Florestais (ERENA *et al.*, 2008).

2.1.2. Morfologia do sobreiro

O sobreiro é uma árvore de folha perene que se distribui pela zona oeste da Bacia Mediterrânica (Figura 1). As árvores atingem um tamanho médio entre os 15 e os 20 metros. O sobreiro tem uma elevada longevidade, sendo o tempo de vida das árvores muito influenciado pelo tipo de operações culturais, nomeadamente a frequência da tiragem da cortiça (regulamentada por lei de 9 em 9 anos). Assim, um sobreiro cuja cortiça tenha sido extraída segundo a lei pode atingir os 300 anos, enquanto que um sobreiro em que a mesma não tenha sido retirada, ou a frequência de extração tenha sido inferior, pode ultrapassar os 400 anos (Costa e Pereira, 2007; Kaltenbach, 2007).

O sobreiro dá-se melhor em zonas com valor de Precipitação Anual superior a 500 mm, estando o valor ótimo situado entre 600 e 800 mm. O valor ótimo de temperatura média anual situa-se entre 15-19 °C. Os indivíduos desta espécie conseguem suportar temperaturas superiores a 40° C e inferiores a -10° C sem sofrer danos graves, graças à sua capacidade de redução do metabolismo (Costa e Pereira, 2007; Ribas, 2011; Kaltenbach, 2007).



Figura 1 - Sobreiro na área em estudo

As folhas do sobreiro possuem uma cutícula espessa e são de pequena dimensão, o que reduz as perdas de água por transpiração. Outras adaptações para diminuir a perda de água consistem no fecho dos estomas, perda das folhas ou inibição do crescimento das mesmas e ainda mudanças a nível da condução hídrica no interior da planta (Pinto, 2013).

Estas adaptações permitem à espécie manter, dentro de certos limites, um equilíbrio entre a água perdida pelas folhas e a água captada pelas raízes (David e Pinto, 2015).

O sistema radicular do sobreiro é dimórfico. Por um lado, há uma extensa e densa rede de raízes superficiais (primeiros 40 cm de solo), ligadas a raízes profundantes (de desenvolvimento vertical). Esta rede de raízes estende-se até 4 vezes o limite de projeção da copa (Pinto, 2013) e destina-se, fundamentalmente, a captar a água das camadas mais superficiais do solo nos meses de maior precipitação (Pinto *et al.*, 2013). A pouca profundidade a que se encontra este subsistema de raízes torna-o muito suscetível a danos resultantes, por exemplo, de práticas agrícolas que envolvam a mobilização do solo (Dinis, 2014; David e Pinto, 2017).

Por outro lado, o sobreiro possui uma raiz principal (pivotante) ramificada, em profundidade, num conjunto de raízes pouco lenhificadas e filamentosas. Estas raízes alcançam o lençol freático e podem chegar a 5,5 m de profundidade. Estas raízes mais profundas podem estar sujeitas à excessiva compactação do solo resultante do pisoteio pelos animais ou das operações culturais efetuadas por maquinaria pesada, o que impede o arejamento e capacidade de infiltração de água (Dinis, 2014; David e Pinto, 2015; Ribas, 2011; Kaltenbach, 2007).

Segundo David e Pinto (2015), os padrões de enraizamento dos sobreiros estão dependentes das características genéticas, das condições ambientais do local (climáticas, tipologia do solo, litologia), da idade da árvore, do tipo de vegetação do subcoberto e da gestão do montado. Esta multiplicidade de fatores pode resultar em diferentes tipos de funcionamento para os padrões de enraizamento (Dinis, 2014; David e Pinto, 2015).

O sobreiro não é muito exigente no respeitante ao tipo de solo, preferindo, no entanto, solos de textura leve, profundos e permeáveis que permitem um bom arejamento e expansão radicular. Em termos de pH do solo, pode oscilar entre 4,5 e 7,5, situando-se o pH ideal entre 5,5 e 7,0 (Ribeiro e Surový, 2008; Costa e Pereira, 2007). Solos delgados, com elevada densidade, solos com encharcamento prolongado ou solos em que a rocha subjacente está pouco fraturada, condicionam o enraizamento saudável (David, 2014).

A redistribuição hídrica da água entre zonas de potencial hídrico diferente pela raiz do sobreiro, principalmente no verão através da elevação hidráulica (*hydraulic lift*) (redistribuição da água do solo profundo e saturado para o solo mais superficial) é também um importante serviço prestado pelas raízes do sobreiro como escrevem as autoras Teresa David e Clara Pinto, pois permite a disponibilidade de água às raízes finas, aumentando a sua longevidade, e facilitando também a absorção de nutrientes do solo superficial, quer pela árvore em si, quer pelas raízes da vegetação do subcoberto, contribuindo assim para a manutenção das interações planta-planta (David e Pinto, 2015).

O sobreiro apresenta ainda um xilema adaptado a um clima mais seco, tendo assim maior resiliência à formação de embolias, sacrificando assim alguma eficiência hídrica. Ao nível foliar, o sobreiro apresenta folhas de pequena dimensão, recortadas com cutícula espessa e quebradiça, folhas adaptadas para conseguir suprimir as perdas de água por transpiração.

Esta espécie prefere situações de encosta em detrimento de zonas mais aplanadas, devido à estrutura e drenagem do solo. Zonas com má drenagem são as que apresentam maior mortalidade para esta árvore (Costa e Pereira, 2007).

2.1.3. Declínio do montado

O montado de sobreiro é um sistema de elevada importância, no entanto é um sistema frágil, devido à multiplicidade de usos que nele podem ocorrer. Assim, se uma das componentes de exploração ultrapassar um determinado limite, como é o caso, por exemplo, já referido, da pecuária, todo o sistema é afetado, o que pode pôr em causa a sua integridade no futuro. De facto, nas últimas décadas tem ocorrido um declínio do montado, devido a causas várias (Costa e Pereira, 2007; Branco *et al.*, 2010).

As árvores que se encontram fragilizadas devido à falta de água, danos no sistema radicular ou outras limitações, encontram-se mais vulneráveis ao ataque de pragas e doenças, outro fator que em muito tem contribuído para o declínio

Segundo Ribeiro e Surový (2008), gradagens com enterramento dos matos deixam o solo exposto à radiação solar, facto que leva a um aumento da temperatura e consequente modificação da biologia do solo. Estas alterações podem beneficiar os fungos patogénicos que atacam as árvores, provocando a quebra na absorção de água e nutrientes pela raiz, fragilizando, desta forma, as árvores, o que, associado a outros fatores de stress, poderá levar à sua morte (Ribeiro e Surový, 2008).

Tenhunen *et al* (2009) consideram como indicador da perda de resiliência do montado a degradação do coberto arbóreo resultante quer da mortalidade das árvores em povoamentos com estruturas envelhecidas e de baixa densidade, quer a baixa existência ou inexistência de plantas jovens devido às baixas taxas de regeneração natural.

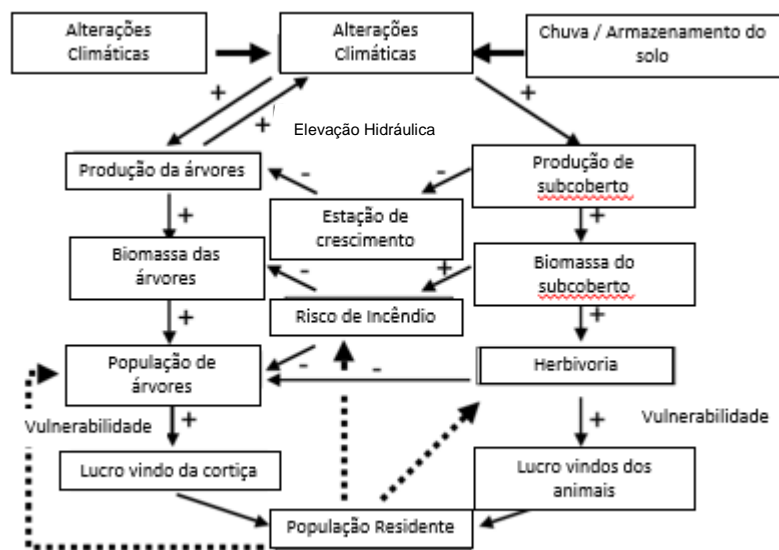


Figura 2 - Interações entre o montado de sobro e vários fatores ambientais e sociais

2.2. Humidade

6

temporal quer espacial, devido às características dos fenômenos meteorológicos que provocam precipitação, topografia, propriedades do solo e tipo de coberto vegetal (Das e Mohanty, 2006).

2.3. Temperatura

A temperatura do solo tem um impacto significativo no crescimento das raízes de uma planta. A capacidade de crescimento do sistema radicular pode ser drasticamente reduzida se a temperatura do solo se encontrar quer abaixo, quer acima da temperatura ótima (McMichael e Burke, 1998).

A radiação solar tem um papel importantíssimo na variação diurna da temperatura, que por sua vez vai influenciar a temperatura do solo e a humidade do mesmo, dois fatores ambientais bastante importantes no crescimento de plantas (Sriboon *et al.*, 2017). Estes dois fatores estão também dependentes da profundidade do solo.

Segundo Sriboon *et al.* (2017), a temperatura do solo apresenta um papel importante quer nas propriedades físicas e químicas do solo, quer nos processos bioquímicos que conduzem à germinação de sementes, crescimento da planta, assimilação de água e nutrientes, e trocas de energia entre a superfície do solo e a atmosfera (Sriboon *et al.*, 2017).

A temperatura no solo é um fator limitante à respiração do solo, principalmente em alturas em que não existe disponibilidade hídrica (Wildung *et al.*, 1975). Este parâmetro afeta o crescimento e a divisão das raízes no solo, além da sua orientação e direção no mesmo. A profundidade do solo termicamente favorável ao crescimento e proliferação de raízes é feita através da função de intervalo de temperatura e resposta da raiz à temperatura, logo a temperatura do solo é um fator limitador do crescimento e desenvolvimento das raízes no solo, especialmente durante a fase de crescimento dos indivíduos (Kaspar e Bland, 1992).

3. Metodologia

3.1. Localização e caracterização da área de estudo

A área de estudo, um povoamento de sobreiro, localiza-se no Concelho de Borba, Freguesia de Rio de Moinhos, Herdade da Carneira (Figura 3).

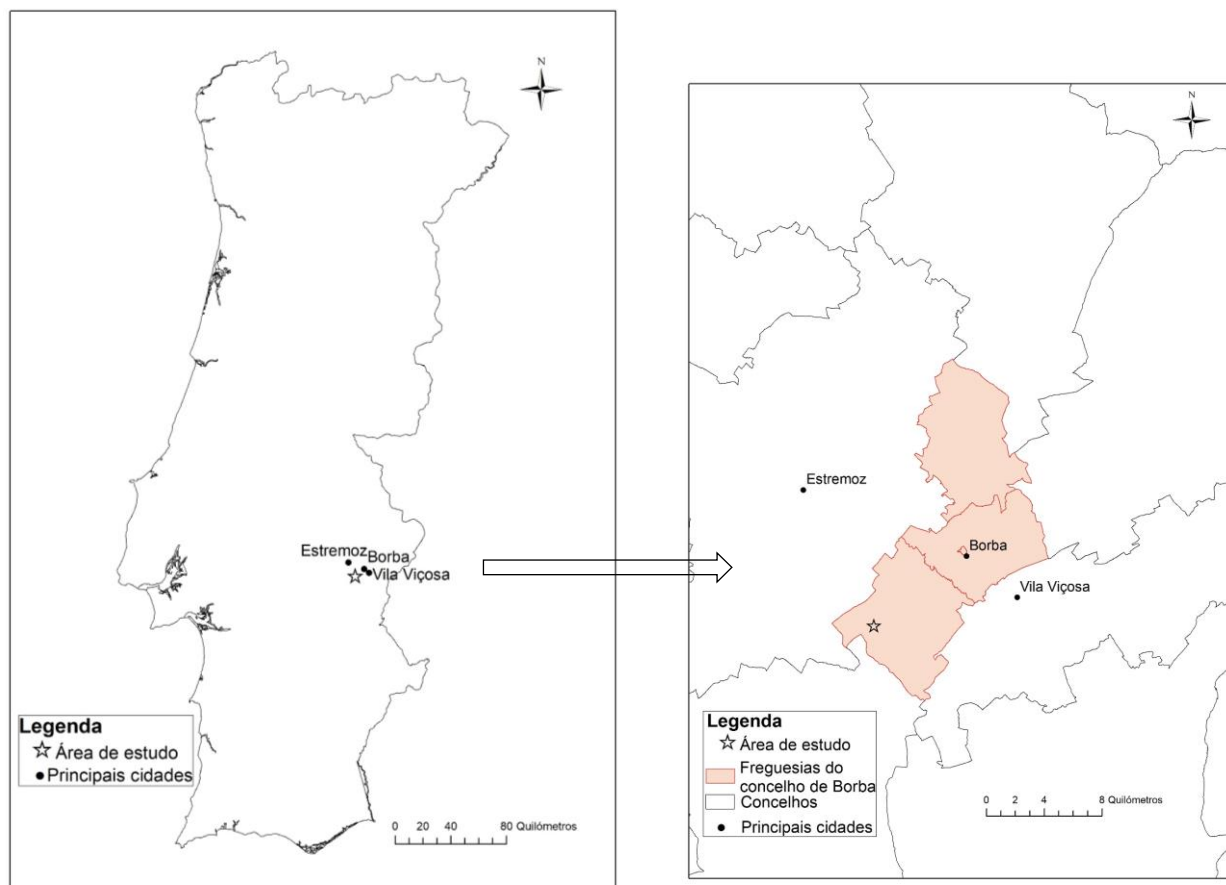


Figura 3 - Localização da área de estudo.

A área de estudo encontra-se localizada no sopé da Serra d'Ossa, perto da localidade de Rio de Moinhos, a aproximadamente 275 m de altitude (Figura 4).

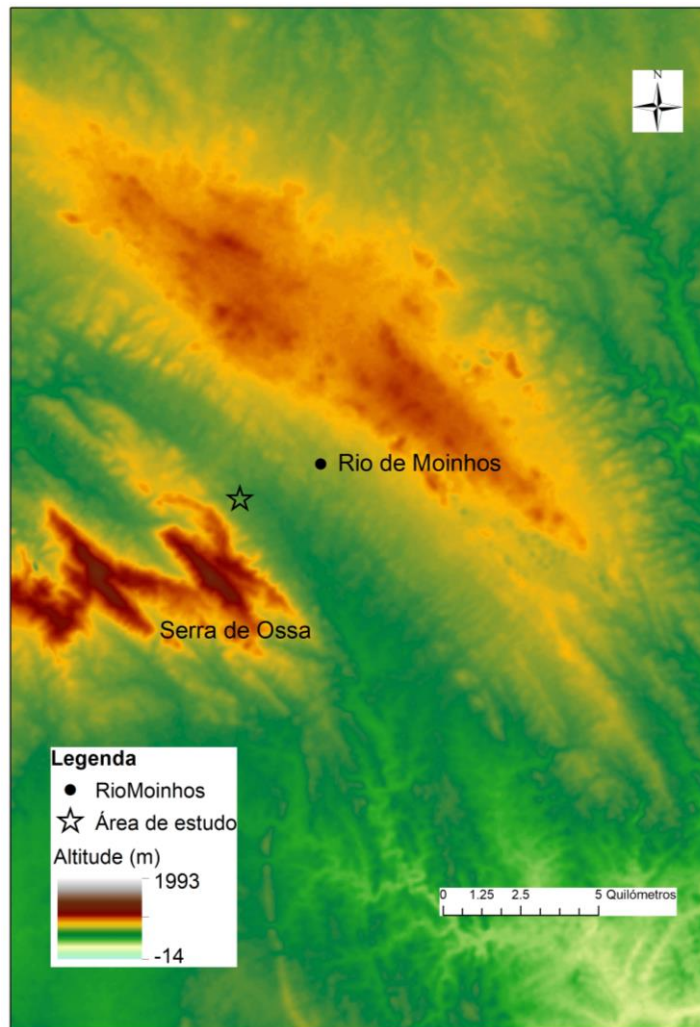


Figura 4 - Altitude da zona envolvente à área de estudo (aproximadamente 30 m de resolução espacial).

Segundo a classificação de Köppen-Geiger (Rubel e Kottek, 2010), uma das classificações climáticas mais usadas, a área de estudo possui clima mediterrânico com verão quente (Csa).

O diagrama termopluviométrico relativo ao concelho de Borba revela a existência de um clima tipicamente mediterrânico (Figura 5). A precipitação anual não é muito elevada (656 mm), concentrando-se nos meses de novembro a abril, portanto na altura mais fresca do ano. O inverno é húmido e de ameno a fresco. A primavera é um período favorável ao crescimento das plantas, devido à ocorrência simultânea de precipitação e de temperaturas propícias à atividade metabólica. O verão (junho-setembro) constitui uma estação desfavorável para as plantas, devido às temperaturas elevadas e quase ausência de precipitação, portanto elevado défice hídrico. As chuvas de outono permitem um recomeço da atividade fotossintética pois as temperaturas nessa altura ainda o permitem. Em resumo, o inverno e, sobretudo, o verão, são estações adversas para o crescimento vegetal que ocorre, assim, principalmente, no outono e na primavera.

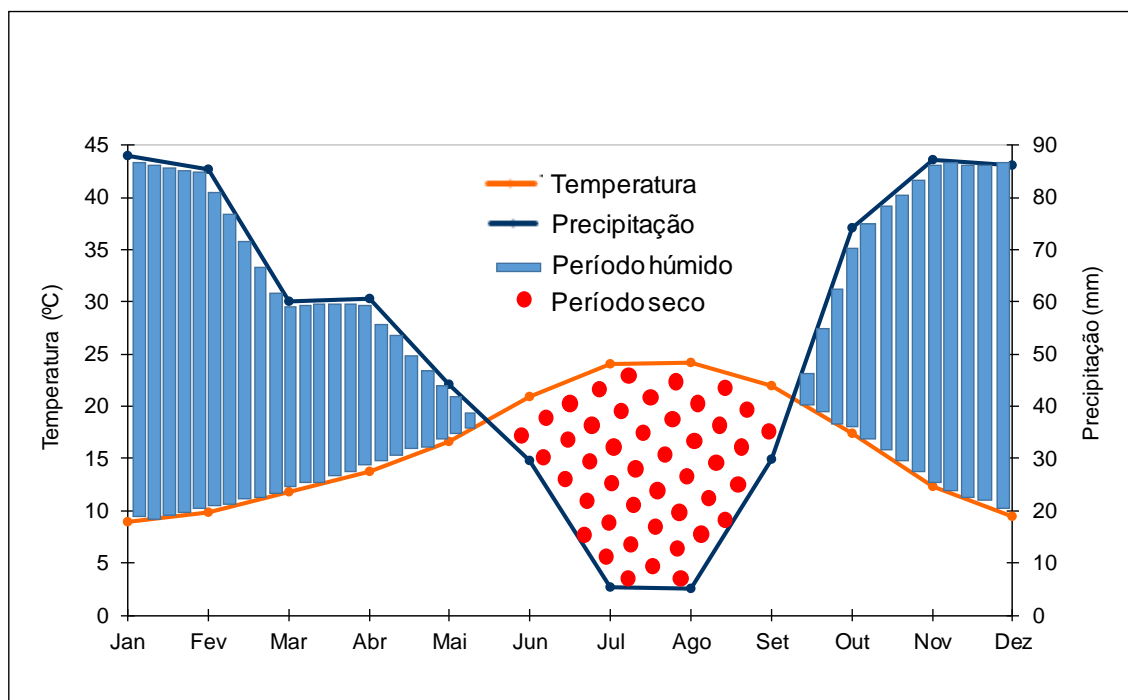


Figura 5 - Diagrama termopluiométrico do concelho de Borba.

A zona apresenta grande diversidade de seres vivos, podendo encontrar-se algumas espécies raras e com grande interesse para a conservação, destacando-se em termos de avifauna a águia-calçada (*Aquila pennata*), o peneireiro-cinzento (*Elanus caeruleus*) e o mocho-de-orelhas (*Otus scops*). De entre os corvídeos destaque para o corvo (*Corvus corax*) e para o gaio (*Garrulus glandarius*). A Serra d'Ossa abriga ainda espécies tão importantes para a conservação como a águia de Bonelli (*Hieraaetus fasciatus*), o bufo real (*Bubo bubo*), algumas espécies de morcegos e a víbora cornuda (*Vipera latasti*). Próximo das linhas de água é frequente a existência de anfíbios como a salamandra (*Salamandra salamandra*), o sapo-parteiro-ibérico (*Alytes cisternasii*) e a rela (*Hyla arborea*). No respeitante a espécies cinegéticas, destaque para a caça maior, com presença do javali (*Sus scrofa*) (CM Redondo, 2018).

A vegetação é constituída por espécies tipicamente mediterrânicas, de folha pequena, dura e muitas vezes espinhosa. Dominam as árvores de folha persistente como o sobreiro (*Quercus suber*), a azinheira (*Quercus rotundifolia*) e o zambujeiro (*Olea europaea* var. *sylvestris*). No estrato arbustivo ocorre o medronheiro (*Arbutus unedo*), a urze-vermelha (*Erica australis*), o rosmaninho (*Lavandula lusitanica*) e o alecrim (*Rosmarinus officinalis*) (CM Redondo, 2018).

A área de estudo (11,5 ha) está situada numa encosta exposta a nordeste. A altitude varia entre 264 e 304 m (Figura 6).

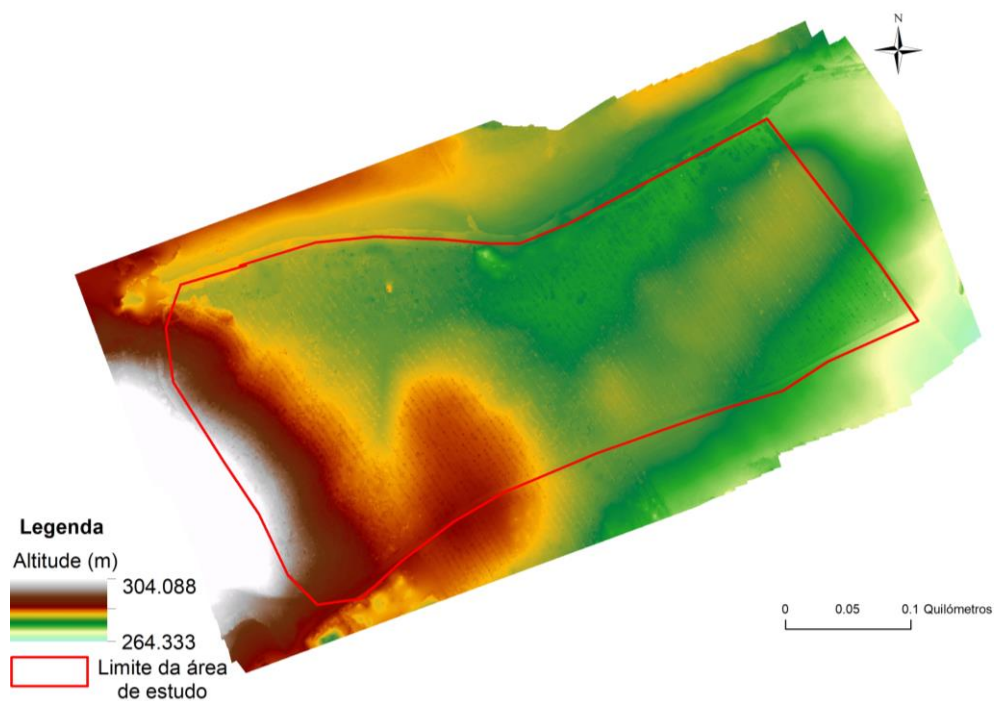


Figura 6 – Altitude da área de estudo.

O declive varia entre Plano (0%) a Escarpado (>25%), tomando valores mais elevados na zona sudoeste (Figura 7 e Tabela 1). Praticamente metade da área tem declive superior a 15%.

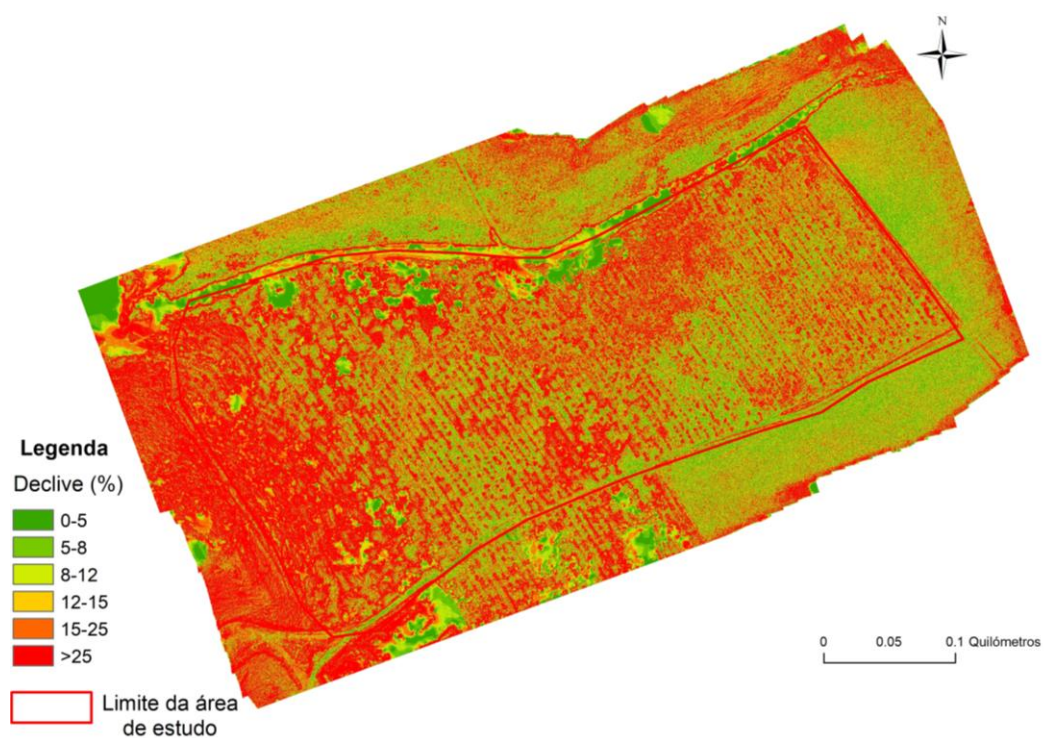


Figura 7 – Declive da área de estudo, obtido com base no ficheiro da altitude adquirido por drone.

Tabela 1 – Representatividade (%) das várias classes de declive.

Classes de declive	(%)
0-5	12
5-8	12
8-12	15
12-15	9
15-25	20
>25	31

A área de estudo está ocupada por um povoamento de sobreiros plantados em 1996 (23 anos) com um compasso inicial de 6 x 4 metros. No entanto, em algumas zonas ocorreu mortalidade ao longo do tempo, tendo sido realizadas, por isso, várias retanchas. Mas, mesmo assim, continuou a ocorrer mortalidade nessas zonas, pelo que, atualmente, a densidade do coberto arbóreo varia ao longo da área de estudo. Este parâmetro toma valores mais elevados na zona sudoeste e diminui gradualmente para este (Figura 7).

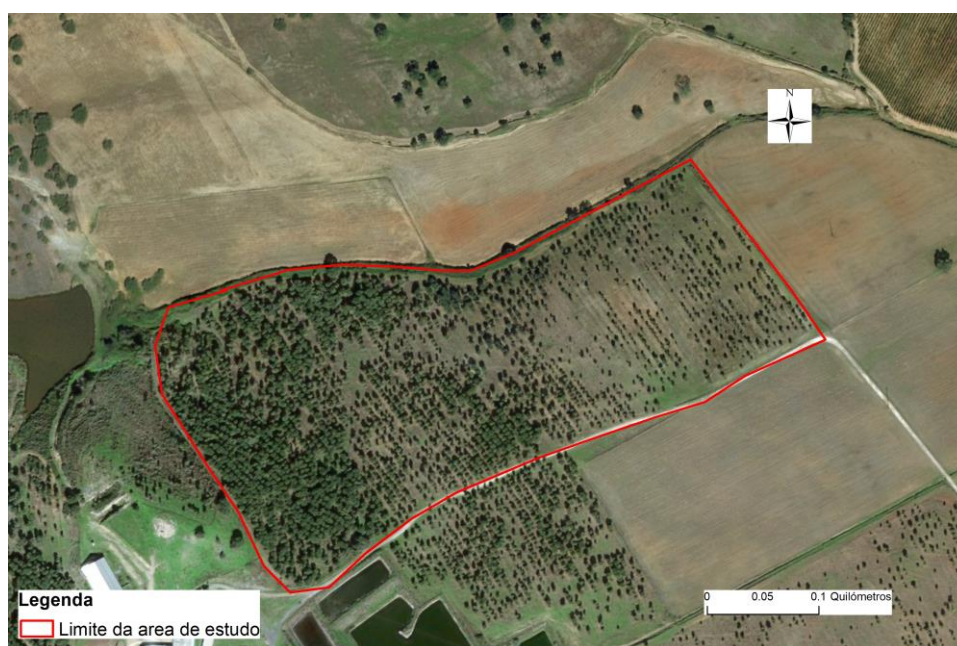


Figura 8 - Imagem de satélite da área de estudo, podendo observar-se a variação da densidade do coberto arbóreo.

3.2. Métodos

3.2.1. Obtenção dos dados

Sondas

Na área de estudo foram instaladas duas sondas para medição da Temperatura e Humidade Relativa do solo a várias profundidades: 10 cm, 20 cm, 30 cm e 40 cm. Idealmente deveriam ser instaladas mais sondas por forma a caracterizar o melhor possível a área de estudo. No entanto, tal não foi possível, pelo que se optou pela localização das duas sondas em zonas distintas no respeitante a características ambientais. Uma das sondas (designada FCT01) foi localizada na zona de maior densidade do coberto arbóreo (zona sudoeste) e a outra (designada FCT02) na zona de menor densidade (zona sudeste), como se pode observar na Figura 9. As sondas (modelo EP100DL-04 da EnviroPro) foram fornecidas pela empresa Hydrosoph e possuem um *Logger* que regista os valores de Temperatura e Humidade Relativa de 15 em 15 minutos. É efetuada uma média dos valores referentes a cada 4 horas sendo estes valores enviados para uma base de dados, a plataforma do Irristrat (Irristrat, 2017), pelo que é posteriormente possível a sua consulta.

As sondas foram colocadas no dia 29 de julho de 2018 e mantiveram-se no terreno até ao final de dezembro do mesmo ano. A sonda FCT02 parou de emitir, não tendo sido possível obter dados da semana 37 à semana 40. Procedeu-se posteriormente à sua reparação. Os dados tratados na presente dissertação dizem respeito ao período de 7 de agosto a 22 de dezembro (semanas 32-51).

Além dos dados obtidos através das sondas foram ainda usados dados estimados de Precipitação e Evapotranspiração Real para a zona de Estremoz cedidos pela Hydrosoph.

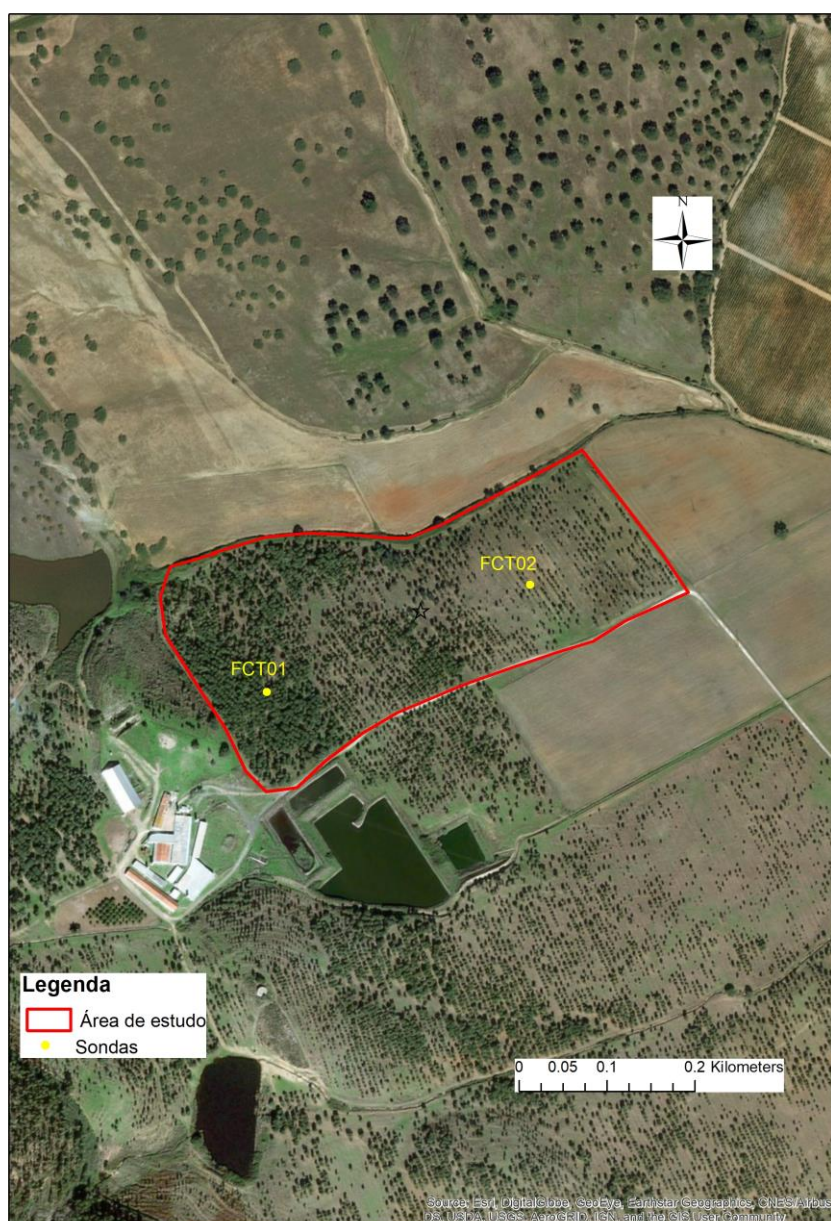


Figura 9 - Localização das sondas na área de estudo.

As sondas distam cerca de 300 metros. A sonda FCT01 situa-se numa zona de maior densidade de coberto arbóreo, como já referido (375 árvores/ha), mas menor coberto herbáceo. A sonda FCT02, pelo contrário, localiza-se numa zona de menor densidade de árvores (175 árvores/ha) mas maior coberto herbáceo.

A sonda FCT01 está situada a uma altitude ligeiramente superior (280 m) comparativamente à sonda FCT02 (272 m), como se pode observar na Figura 10 que representa a altitude da área de estudo com base em dados recolhidos em outubro de 2018 por um drone (tamanho do pixel de 6,4 cm).

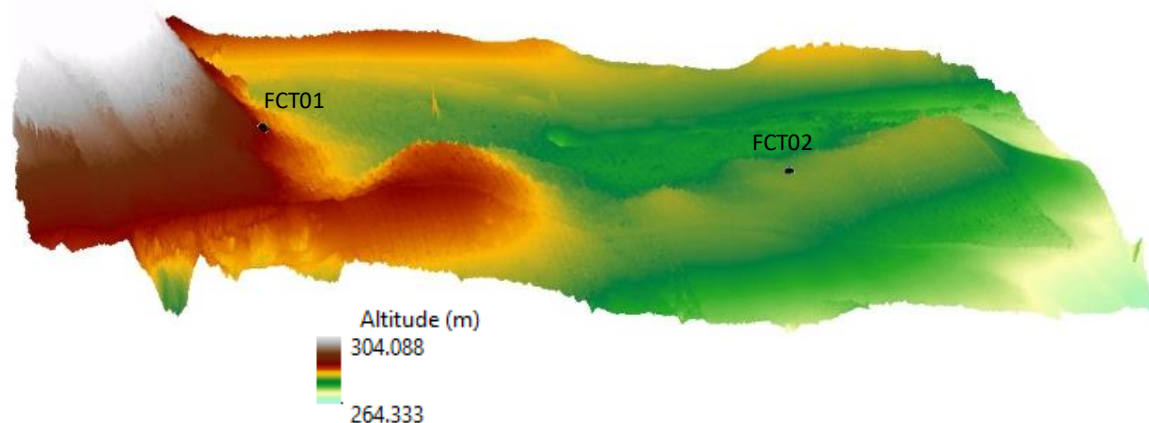


Figura 10 - Modelo 3D de relevo, exagero vertical de 5.

Variáveis dendrométricas

A designação de variável dendrométrica refere-se genericamente a qualquer avaliação, geralmente quantitativa, realizada em árvores ou povoamentos florestais (Tomé, 2007). O método mais generalizado para a avaliação das variáveis dendrométricas ao nível do povoamento consiste na medição de todas as árvores presentes em parcelas de raio fixo. Assim, no campo, com centro em cada sonda, foi delimitado um círculo de raio 25,23 m (área=2000 m²), de acordo com a metodologia do Inventário Florestal Nacional (Tomé, 2007). A partir de agora chamar-se-á parcela à parte do povoamento situada dentro de cada um dos círculos delimitados à volta das sondas.

Dentro de cada parcela foram medidas todas as árvores existentes no respeitante aos seguintes parâmetros dendrométricos: Perímetro (Circunferência) à Altura do Peito (1,30 m de altura), Altura do Fuste (medida desde a base da árvore até à parte inferior do início da bifurcação do tronco), Altura de Descortiçamento (só para a parcela 1 pois na parcela 2 as árvores ainda não possuíam dimensão suficiente para permitir a retirada da cortiça) e raios perpendiculares da copa (raio da copa na direção norte, raio da copa na direção este, raio da copa na direção sul e raio da copa na direção oeste), como se pode observar na Figura 11 (ICNF, 2009).

Os valores dos referidos parâmetros foram obtidos com fita métrica.

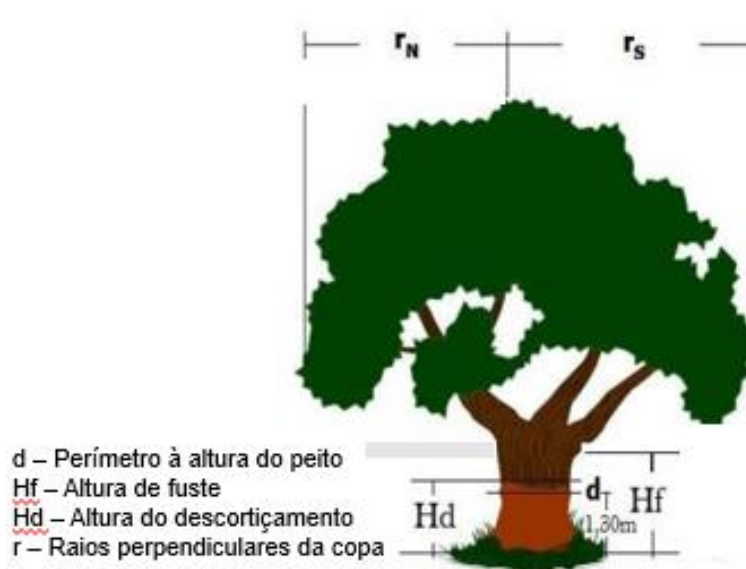


Figura 11- Variáveis dendrométricas ao nível da árvore recolhidas em campo.

Deteção remota

A partir do site Copernicus Sci Hub foram extraídas imagens do satélite Sentinel 2, Nível de processamento 1C (que inclui correção geométrica e radiométrica, mas não atmosférica) referentes ao dia 2 de outubro de 2018.

O Sentinel 2 é uma missão criada pela Agência Espacial Europeia (ESA) no âmbito do programa Copernicus, composta por dois satélites em órbitas separadas por 180° , Sentinel-2A e Sentinel-2B. Estes satélites encontram-se equipados com sensores MSI (*MultiSpectral Instrument*) com 13 bandas espectrais com diferente resolução espacial (10, 20 e 60 metros, de acordo com a banda), desde o visível até ao infravermelho próximo (NIR) e infravermelho de onda curta (Short Wave Infrared, SWIR) (ESA, 2019). Esta missão tem uma resolução temporal ou intervalo de revisitação de 10 dias (os 2 satélites em conjunto 5 dias) (ESA, 2019; Gomes, 2018).

A informação obtida por estes satélites enquadra-se no Programa Copernicus, um programa desenvolvido pelos estados-membros da União Europeia (UE) em parceria com a ESA, estando a coordenação e gestão do mesmo entregue à Comissão Europeia (Copernicus, nd; ESA, 2019). O programa Copernicus tem como objetivo a aquisição de informação sobre seis temas principais:

- Monitorização dos oceanos
- Monitorização do território terrestre
- Monitorização da atmosfera
- Resposta a emergências
- Segurança
- Alterações climáticas

As bandas espectrais do Sentinel-2 (13 bandas) são apresentadas na Tabela 2:

- Quatro bandas com resolução espacial de 10 m: azul, verde, vermelho e infravermelho próximo;

- Seis bandas com resolução espacial de 20 m: três bandas estreitas no domínio espectral da transição entre o vermelho e o infravermelho próximo (*red-edge*); uma banda estreita no NIR e duas bandas no SWIR;
- Três bandas com resolução espacial de 60 m, que são principalmente usadas para correção atmosférica e detecção de nuvens, principalmente cirrus).

Tabela 2 - Bandas espectrais do Sentinel 2.

	Banda	Gama valores (nm)	Resolução (m)
Visível	Banda 1 – aerossóis costeiros	433 - 453	60
	Banda 2 - Azul	458 - 523	10
	Banda 3 - Verde	543 - 578	10
	Banda 4 - Vermelho	650 - 680	10
NIR	Banda 5 – “red edge”	698 - 713	20
	Banda 6 – “red edge”	733 - 748	20
	Banda 7 - “red edge”	773 - 793	20
	Banda 8 – Infravermelho próximo (larga)	785 - 900	10
	Banda 8a – Infravermelho próximo (estreita)	855 - 875	20
	Banda 9 – Vapor de água	935 - 955	60
	Banda 10 – Detecção de cirrus	1360 - 1390	60
SWIR	Banda 11	1565 - 1655	20
	Banda 12	2100 - 2280	20

Este satélite, em comparação com satélites anteriores, apresenta a vantagem de ter um maior número de bandas espectrais na zona de transição entre o vermelho e o infravermelho próximo, zona muito importante para a caracterização da vegetação.

3.2.2. Tratamento e análise dos dados obtidos

Sondas

Os dados referentes às sondas extraídos da plataforma do Irristrat foram processados no Software Microsoft Office 360 Excel versão 1902. Foi calculada e estudada a evolução temporal da média semanal da Humidade Relativa e Temperatura do solo.

Dados dendrométricos

A partir do número de árvores localizadas dentro de cada parcela foi calculada a densidade do coberto arbóreo.

Com os valores do raio da copa medido segundo os 4 pontos cardeais foi calculado o valor médio do raio para cada árvore e posteriormente a área da copa.

Através das equações da Tabela 3 foi calculada a biomassa de cada árvore no respeitante às várias componentes da biomassa: lenho no tronco, pernadas e braças, ramos, folhas e raízes, e finalmente a biomassa total que é calculada pela soma das várias componentes.

Tabela 3 - Equações utilizadas na estimação da biomassa referentes ao sobreiro.

Equações utilizadas na estimação da biomassa – *Quercus suber*

Modelo						
(1) $w_i = \beta_0 \text{ cu } \beta_1$ (i = wsbr1, br2, l, r)						
(2) $w_i = \beta_0 \text{ du } \beta_1$						
Componente	modelo	β_0	β_1	β_2	β_3	Fonte
Lenho no tronco, pernadas e braças (wsbr1)	1	284,2881	2,9646			Tomé et al., 2007
Ramos (wbr2)	1	108,5769	1,3464			Tomé et al., 2007
Folhas (wl)	1	22,5773	1,1690			Tomé et al., 2007
Total aérea (wa)	wa=ww +wbr+wl					Tomé et al., 2007
Raízes (wr)	2	0,063777	2,07779			Montero et al., 2005
d – diâmetro da árvore com casca medido a 1,30 m de altura (cm); du – diâmetro da árvore sem casca medido a 1,30 m de altura (cm); cu – circunferência à altura do peito (m); w – biomassa da componente i da árvore (kg); wa – biomassa total aérea da árvore (kg).						

Foi testada, através de testes-t ou de Mann-Whitney (consoante os pressupostos da normalidade eram ou não cumpridos), a existência de diferenças significativas entre as árvores das duas parcelas no respeitante ao Perímetro à Altura do Peito, à Altura do Fuste, à área da copa e à biomassa total. A existência de normalidade foi efetuada através do teste Shapiro-Wilk, análise dos histogramas e dos PP-Plots. O nível de confiança usado em todos os testes foi de 95%. Esta análise estatística foi efetuada através do programa PAST (Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis), versão 3.23.

Deteção remota

Ao longo do tempo foram propostas, por vários autores, várias combinações matemáticas da refletância nas diversas bandas espectrais por forma a realçar determinados objetos ou características da superfície terrestre. No respeitante a estudos de vegetação, têm sido usadas bandas espectrais do vermelho e do infravermelho próximo, combinações estas que fazem realçar a resposta espectral da vegetação em relação à resposta dos restantes materiais da superfície da terra, como é o caso do solo ou das rochas. Estas combinações matemáticas denominam-se índices espectrais de vegetação (Rodrigues, 1999).

O Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), apresentado na equação 1, é um dos índices espectrais de vegetação mais utilizados, pois é de cálculo simples, tem um elevado grau de standardização e não assume qualquer pressuposto quanto à distribuição dos dados (Rodrigues, 1999). A gama de valores que pode tomar é de -1 a 1. Quanto maior a quantidade de plantas existentes e quanto melhor for o seu estado fisiológico, maior o valor do NDVI.

$$NDVI = \frac{NIR - \text{Banda do vermelho}}{NIR + \text{Banda do vermelho}} \quad (\text{equação 1})$$

em que NIR é a refletância no infravermelho próximo e a Banda do vermelho representa a refletância no vermelho.

Um outro índice espectral de vegetação muito usado é o Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) (equação 2) que incorpora, na sua formulação, um fator ou coeficiente de ajustamento, L, que tem por objetivo minimizar a influência do solo. O fator L varia inversamente com a densidade das comunidades vegetais, desde 0 (elevados valores de fitomassa) a 1 (baixos valores de fitomassa). Quando não é conhecida a quantidade de vegetação da zona, o fator L toma o valor de 0,5. Tal como acontece com o NDVI, os valores que o SAVI toma podem variar entre -1 e +1 (Rodrigues, 1999; IDMP, 2018).

$$SAVI = (1 + L) \frac{NIR - \text{Banda do vermelho}}{NIR + \text{Banda do vermelho} + L} \quad (\text{equação 2})$$

No software ArcGis versão 10.5.1 foi delimitado um círculo de raio 25,23 m à volta do ponto de localização das sondas. As imagens das várias bandas espectrais foram "cortadas" pelo limite dos círculos e foi calculado o valor médio. Efetuou-se o cálculo dos índices usando todas as combinações possíveis de bandas, obtendo 5 entradas de resultados para cada parcela através do índice NDVI e outras 5 através do índice SAVI.

4. Resultados e discussão

4.1. Dados obtidos

Apresentam-se neste subcapítulo os dados obtidos pelas sondas desde 7 de agosto até 22 de dezembro. A Figura 12 apresenta os valores médios de precipitação e evapotranspiração ao longo do período em estudo.

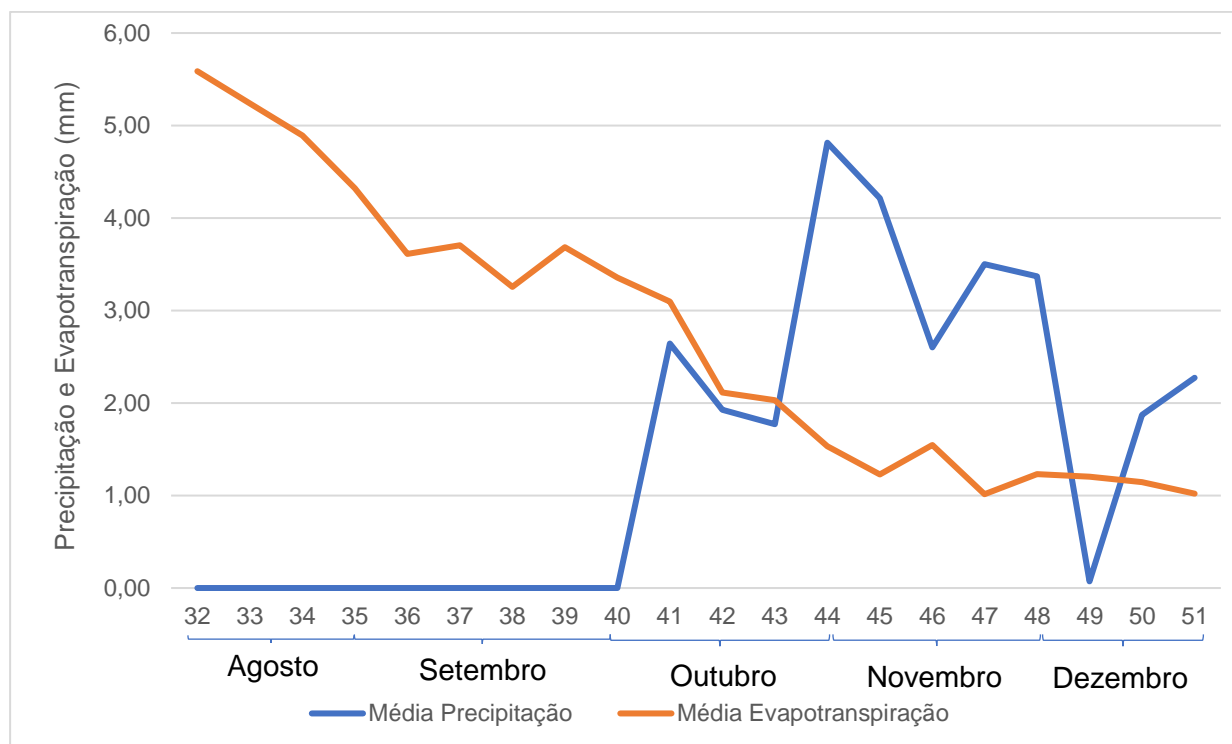


Figura 12- Comparação dos valores da média semanal da Precipitação com a média semanal de Evapotranspiração

Consegue-se observar que até à quadragésima semana não ocorreu precipitação. Os valores de evapotranspiração foram diminuindo de uma maneira geral desde o início do estudo, facto verificado pela mudança de estações observadas durante o período em estudo, em concreto a diminuição da temperatura observada. Os períodos de precipitação foram esporádicos; o período entre as semanas 44 e 45 atingiu a maior média de precipitação, tendo a média de precipitação ficado entre os 4,2 e os 4,8 milímetros. Em termos de média de evapotranspiração, o valor máximo obtido verificou-se no início do estudo, tendo os valores na primeira semana ultrapassado uma média de 5 milímetros com um máximo de 5,6 milímetros.

A Figura 13 apresenta os valores acumulados das médias de precipitação e evapotranspiração ao longo do período de estudo.

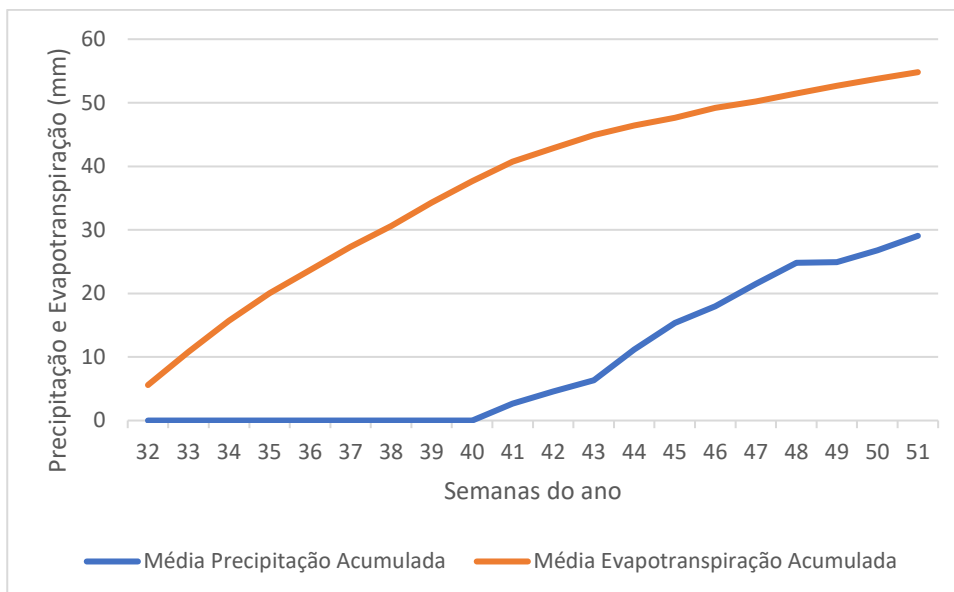


Figura 13- Comparação dos valores da média acumulada de precipitação e média acumulada de evapotranspiração

Este gráfico permite uma comparação direta entre estes dois parâmetros, mostrando que no final do período em estudo os valores de evapotranspiração ultrapassavam os 50 mm, atingindo os 55 mm aproximadamente, e os valores de precipitação não atingiam os 30 mm, existindo assim um déficit em média de cerca de 15 mm entre os valores médios de evapotranspiração e os valores médios de precipitação.

A Figura 14 apresenta os dados da humidade em profundidade relativos à estação referente à sonda FCT01.

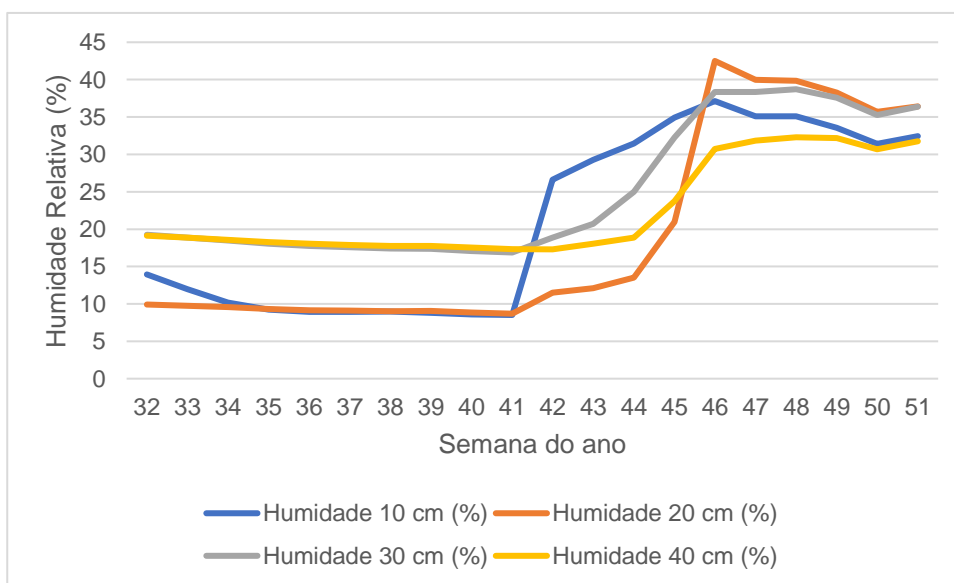


Figura 14- Resultados de humidade relativa na Sonda FCT01

É possível verificar que entre o início do estudo e o início da semana 40, os valores de humidade se mantêm relativamente estáveis e baixos (< 20%), pela ausência de precipitação, o que explica os baixos valores da humidade relativa. Verifica-se ainda que os valores da humidade nas três primeiras profundidades são muito próximos e inferiores aos

valores a 40 cm de profundidade. De facto, a água no solo a esta profundidade não se perde tão facilmente por evaporação.

A partir da semana 40, com a ocorrência de precipitação, a humidade edáfica começa a aumentar. Verifica-se um maior aumento e mais rápido nos valores medidos a menor profundidade (10 cm). Os valores medidos à profundidade de 20 cm são praticamente sempre os menores, até à semana 45 em que aumentam bruscamente. Uma explicação para este facto poderá consistir na eventual existência de bolsas de ar junto ao sensor da sonda, a essa profundidade.

O padrão da humidade a 10 cm, 30 cm e 40 cm entre as semanas 40 e 45 é facilmente explicado pela ocorrência de precipitação. À medida que a água se infiltra no solo tendo as profundidades maiores tido um intervalo de tempo maior até a existência desse aumento.

A partir da semana 46, que marca o final do pico de precipitação, voltamos a assistir a uma estabilização dos valores de humidade, sendo que a maior profundidade (40 centímetros) apresenta a percentagem de humidade mais baixa.

Em relação aos valores de temperatura medidos, os resultados correspondem ao padrão da distribuição de temperatura esperado para aquela região. A Figura 15 mostra que durante os meses secos e mais quentes os valores se encontram bastante próximos, sendo a superfície mais suscetível às variações de temperatura.

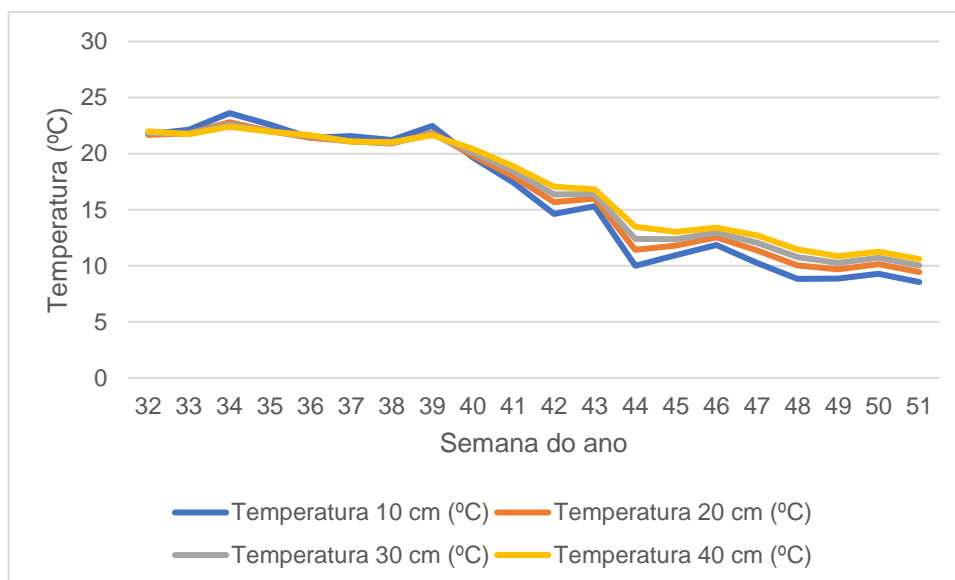


Figura 15- Resultados de temperatura na Sonda FCT01

À medida que as temperaturas foram diminuindo, tal como descrito em cima, os sensores mais perto da superfície ficaram mais suscetíveis às diferenças de temperatura, e os sensores a profundidades maiores apresentaram valores mais constantes. Durante o período de estudo a temperatura mais elevada registada no solo foi de 24°C, e a menor 9°C, ambas registadas a 10 cm de profundidade.

Através da Figura 16, na sonda FCT02 verifica-se uma melhor estratificação que na sonda FCT01.

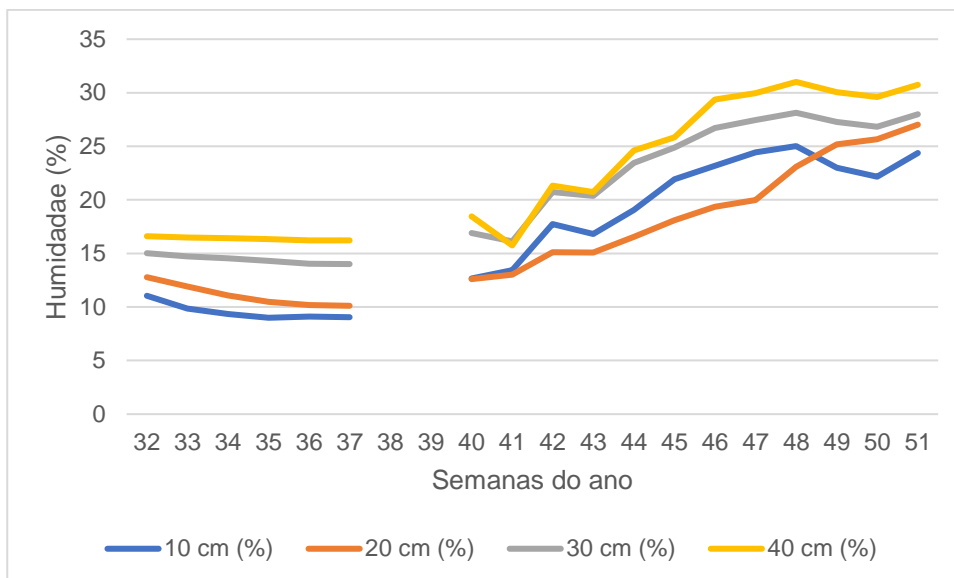


Figura 16- Resultados de humidade relativa na Sonda FCT02

Desde o início do estudo até ao final existe apenas uma sobreposição de valores entre profundidades, ocorrida entre as semanas 40 e 48. Esta sobreposição pode dever-se à necessidade de reinstalação da sonda devido a uma avaria, sendo que a sonda não emitiu resultados entre as semanas 37 e 38 e foi dado tempo entre as semanas 39 e 40 para a sonda se reajustar ao terreno depois da reinstalação. Apesar da falta de dados durante este período, é possível verificar que à medida que aumenta a profundidade maior é a percentagem de humidade no terreno, sendo a maior percentagem registada no sensor de profundidade a 40 cm durante a semana 48, duas semanas depois do pico de precipitação verificado na Figura 12.

Em relação às temperaturas na sonda FCT02 o comportamento é muito semelhante ao da sonda FCT01 como se observa na Figura 17, existindo apenas diferença nos valores registados, tendo a sonda FCT02 registado valores mais elevados durante o período seco, atingindo um máximo de 30°C registado no sensor mais próximo da superfície.

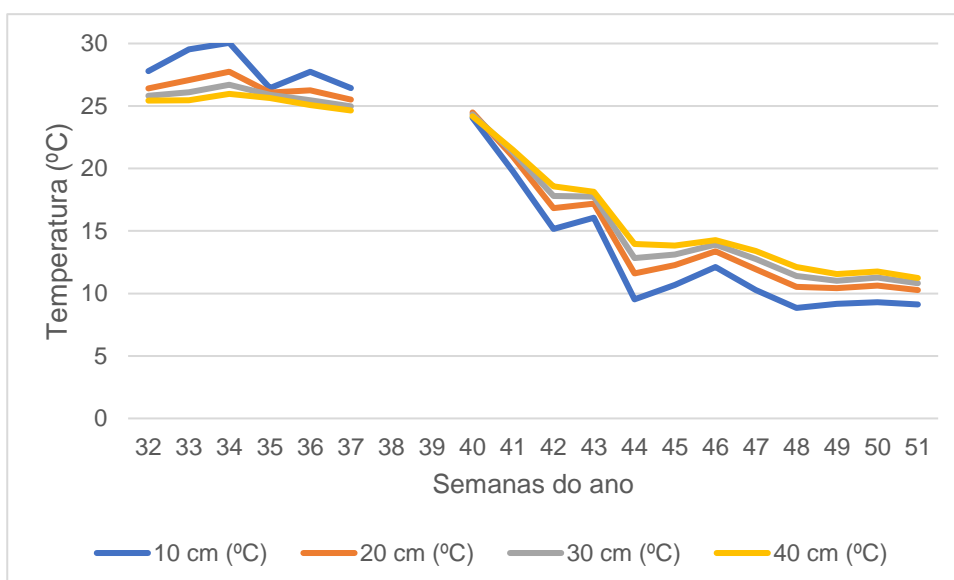


Figura 17- Resultados de temperatura na Sonda FCT02

Tal como na sonda FCT01, à medida que as temperaturas foram descendo verificou-se uma alteração na ordem das profundidades, tendo os sensores mais próximos da superfície apresentado valores mais baixos do que os sensores colocados a maior profundidade, menos suscetíveis a variações do que os colocados à superfície.

Passando à comparação entre profundidades, a Figura 18 mostra a variação de temperatura das sondas FCT01 e FCT02 à profundidade de 10 centímetros. Neste gráfico verificamos que durante a estação seca a diferença entre as temperaturas das duas sondas é significativa, apresentando a sonda FCT02 valores de temperatura mais elevados, facto que se verifica até à última semana do estudo, apesar de nos meses mais frios a diferença entre os valores registados por ambas as sondas ser quase impercetível. A diferença entre valores de ambas as sondas pode dever-se ao facto de a sonda FCT02 estar inserida numa zona com menor concentração de sobreiros, logo menos zonas de sombra, mais expostas à radiação solar durante o dia.

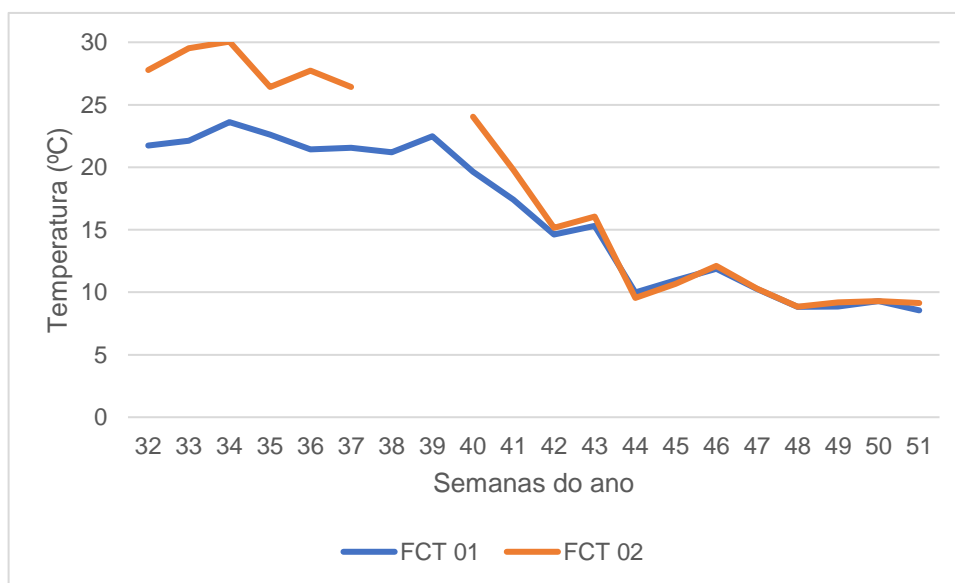


Figura 18 - Resultados de temperatura a 10 centímetros de profundidade

Em relação à variação da percentagem de humidade relativa, a Figura 19 mostra que ambas as sondas durante o período inicial de estudo apresentavam valores muito semelhantes, facto que só se alterou a partir da semana 40, semana em que segundo a Figura 12 se iniciaram os períodos de precipitação.

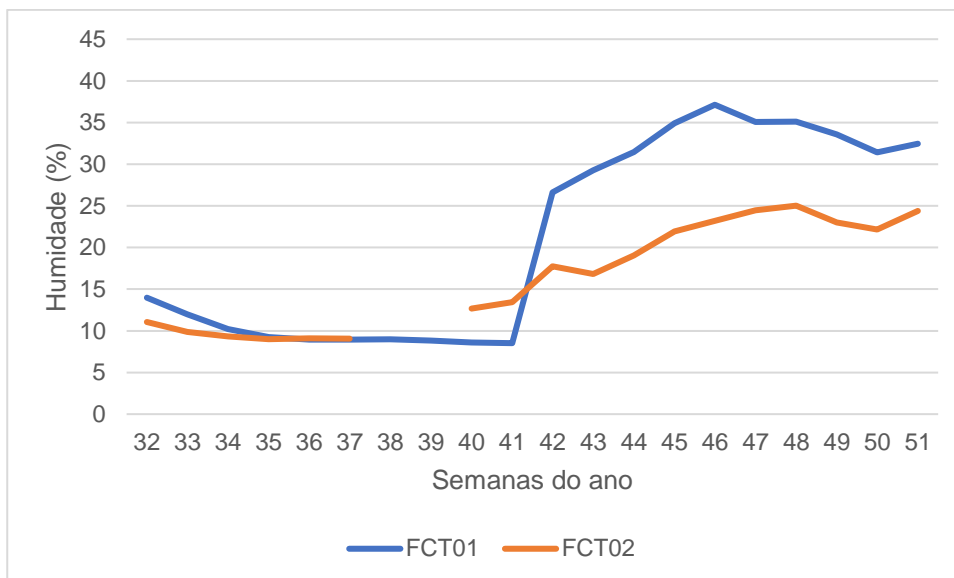


Figura 19 - Resultados de humidade relativa a 10 centímetros de profundidade

A partir desta semana verifica-se um grande aumento na percentagem de humidade em ambas as sondas; porém, o aumento maior é visível na sonda FCT01, que até ao fim do estudo verifica sempre maior percentagem do parâmetro, tendo um máximo superior a 35 por cento na semana 46 do estudo, enquanto a sonda FCT 02 apresenta um máximo de 25 por cento na semana 48.

A Figura 20 mostra as variações de temperatura à profundidade de 20 cm.

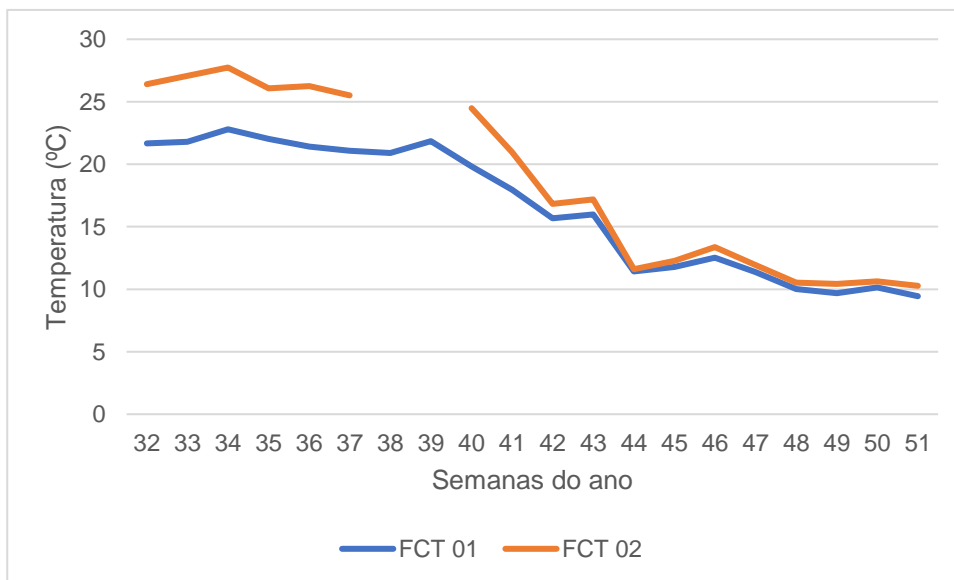


Figura 20 - Resultados de temperatura a 20 centímetros de profundidade

As variações são bastante semelhantes às observadas na profundidade de 10 cm, diferenciando-se apenas na amplitude dos dados registados. Uma vez que estamos a uma profundidade maior, a variação da temperatura é menor, estando o solo menos suscetível às variações da superfície; como tal o máximo de temperatura foi registado pela sonda FCT02 na época seca e é de cerca de 28°C. Já o mínimo registado foi de cerca de 9°C pela sonda FCT01 durante a última semana do estudo, ou seja, meados de dezembro.

Na Figura 21 são mostrados os resultados das variações de percentagem de humidade registados pelos sensores a uma profundidade de 20 centímetros.

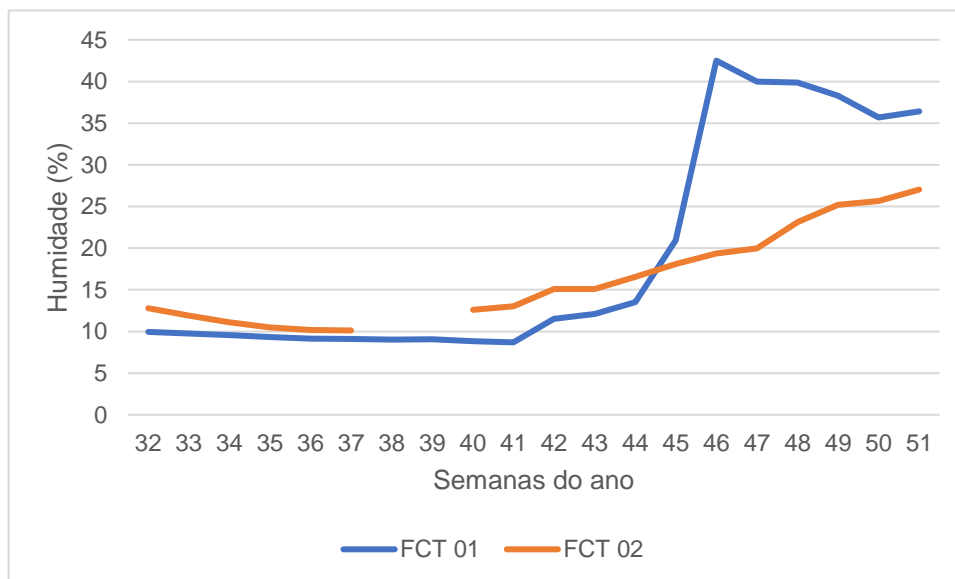


Figura 21 - Resultados de humidade relativa a 20 centímetros de profundidade

No início do estudo observa-se uma ligeira diferença entre as sondas FCT01 e FCT02, com a segunda a ter uma percentagem de humidade relativa ligeiramente maior, mas que apresenta uma diminuição desde o período de instalação até ao período de estabilização. Já a sonda FCT01 apesar de registar valores menores de percentagem de humidade relativa apresenta valores mais constantes até ao início do período chuvoso. A partir da semana 40 (pico de precipitação segundo os resultados da Figura 12) existe uma inversão nos resultados, passando a sonda FCT01 a registar valores de percentagem de humidade mais elevados, atingindo um máximo de 42 por cento durante a semana 46. Já a sonda FCT02 apresentou o seu pico na última semana do estudo, com uma percentagem de 27 por cento de humidade relativa.

Segue-se o estudo da variação da percentagem de humidade relativa a 30 cm como mostra a Figura 22.

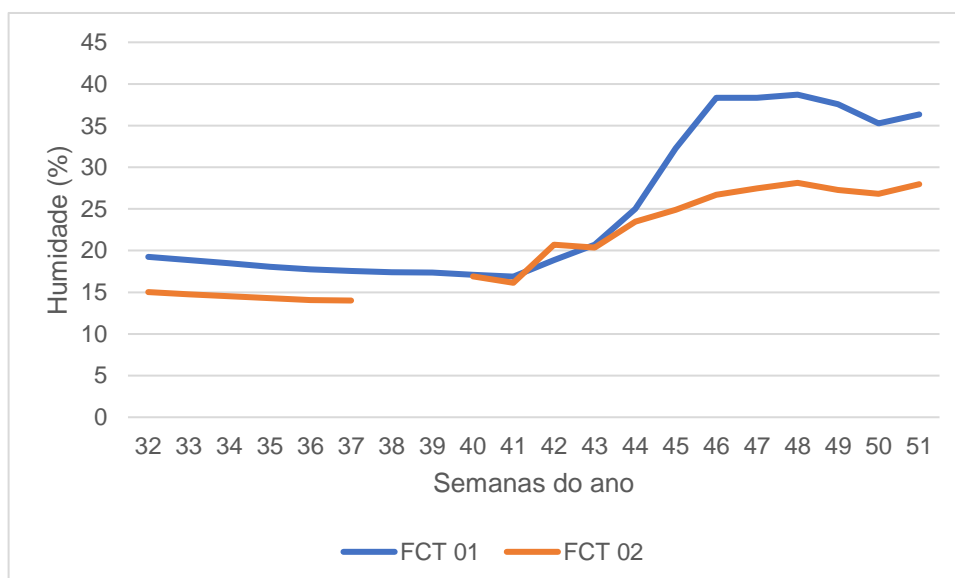


Figura 22 - Resultados de humidade relativa a 30 centímetros de profundidade

Verificamos que no início do período de estudo a sonda FCT01 apresentava valores registados mais elevados, apresentando uma diferença de cerca de 5 por cento para os valores registados pela sonda FCT02. Depois do início do período húmido (semana 40) ambas as sondas apresentam um aumento da percentagem de humidade, tendo a sonda FCT02 um pico superior à FCT01. Depois do pico de precipitação verificado entre as semanas 44 e 45, a sonda FCT01 apresenta um aumento acentuado dos valores registados tendo o pico na semana 48 com 39 por cento de humidade. A sonda FCT02 também atingiu o seu pico nesta semana, mas com uma humidade relativa de 28 por cento.

A Figura 23, que mostra as temperaturas registadas à profundidade de 30 centímetros, é bastante semelhante ao apresentado na profundidade anterior. Os valores registados pela sonda FCT02 são sempre superiores aos registados pela sonda FCT01. A diferença é atenuada nos meses mais frios, ficando os valores de ambos os sensores mais próximos até ao final do período em estudo. O valor mínimo registado foi de 10°C, registado pela sonda FCT01 no último dia do ensaio.

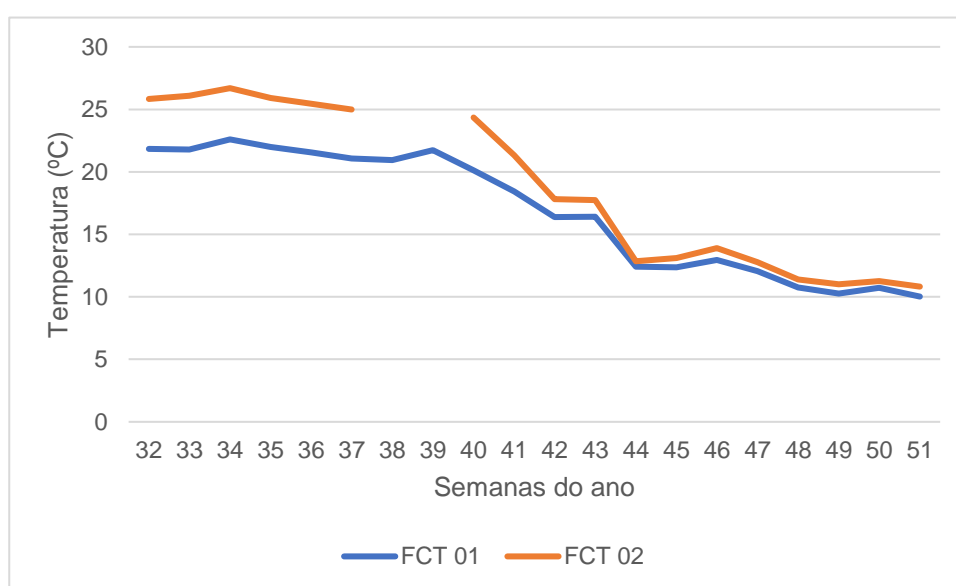


Figura 23 - Resultados de temperatura a 30 centímetros de profundidade

Para os resultados das percentagens de humidade relativa a 40 cm de profundidade observa-se na Figura 24 uma diferença menor do que na profundidade anterior. Existe uma estabilização até ao início do período chuvoso. Observa-se que a sonda FCT02 reage primeiro ao aumento da precipitação, mas os maiores valores de percentagem de humidade relativa são registados pela sonda FCT01 que apresenta uma subida de valores mais controlada. No final do período de estudo ambas as sondas voltam a estabilizar com uma diferença entre ambas semelhante à observada no início. O maior valor medido pelas sondas foi de 32 por cento, na semana 41 do estudo, medido pela sonda FCT01.

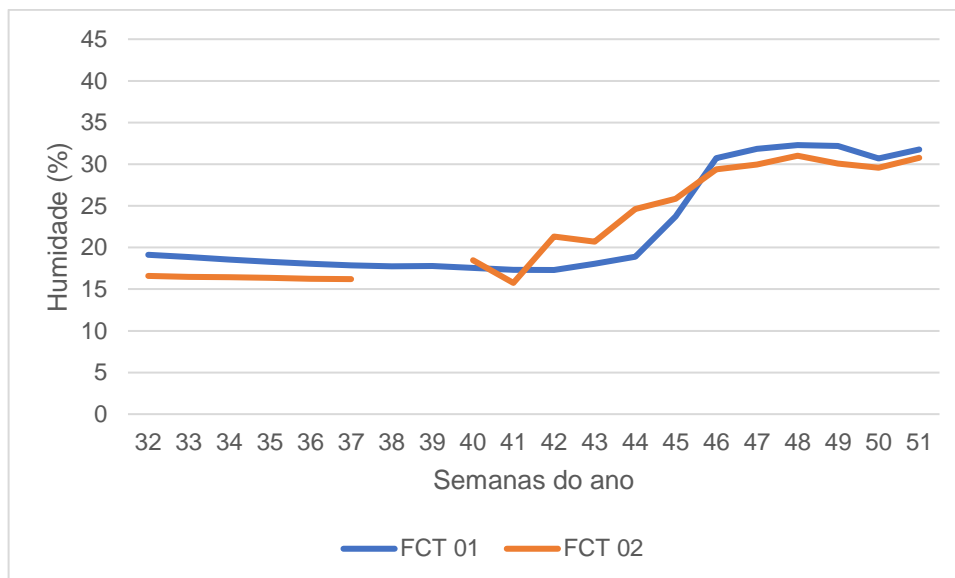


Figura 24 - Resultados de humidade relativa a 40 centímetros de profundidade

A Figura 25 mostra as temperaturas registadas por ambas as sondas à profundidade de 40 centímetros. Novamente os resultados são muito semelhantes aos anteriores, tendo como principal diferença a menor variação entre ambas as sondas, facto que fica a dever-se à maior profundidade do sensor, logo menor suscetibilidade das variações observadas à superfície. Como esperado, a sonda a apresentar valores mais elevados foi a FCT02, devido à sua localização num espaço mais aberto e com maior incidência de radiação solar. O valor máximo registado pela sonda foi de cerca de 26°C.

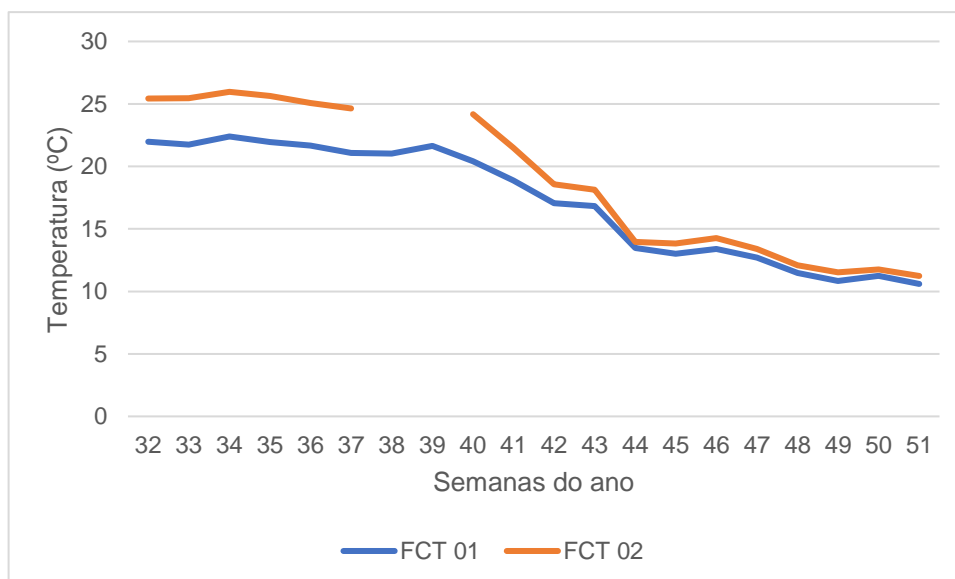


Figura 25 - Resultados de temperatura a 40 centímetros de profundidade

4.2. Resultados das imagens via deteção remota

Através do cálculo do NDVI para ambas as parcelas, obteve-se os resultados descritos na Tabela 4.

Tabela 4 - Resultados de NDVI para ambas as parcelas.

Índice/Banda	Parcela 1	Parcela 2
NDVI45	0,176	0,065
NDVI46	0,546	0,159
NDVI47	0,630	0,230
NDVI48	0,631	0,244
NDVI48a	0,667	0,303

Já os resultados do índice SAVI encontram-se na Tabela 5.

Tabela 5 - Resultados de SAVI para ambas as parcelas.

Índice/Banda	Parcela 1	Parcela 2
SAVI45	0,057	0,040
SAVI46	0,274	0,139
SAVI47	0,360	0,158
SAVI48	0,362	0,169
SAVI48a	0,406	0,219

Através dos resultados, confirmamos que todos os índices apresentam valores mais elevados para a parcela 1.

4.3. Testes estatísticos

A parcela 1 tem 75 árvores e a parcela 2 tem 35. Estes valores traduzem-se numa densidade de 375 árvores /ha para a parcela 1 e 175 árvores/ha para a parcela 2 e numa percentagem de cobertura de 75 para a parcela 1 e de 9 para a parcela 2.

Apresenta-se na Tabela 6 (em anexo) os valores dos parâmetros medidos no campo (PAP, Altura do fuste, Altura do descortiçamento) bem como dos parâmetros Área de Copa e biomassa.

O PAP tem distribuição normal nas duas parcelas. O teste t de Student revelou ($t=5,753$; $p\text{-value}=0,00$) que os valores de PAP da parcela 1 são significativamente superiores aos da parcela 2 (Figura 26).

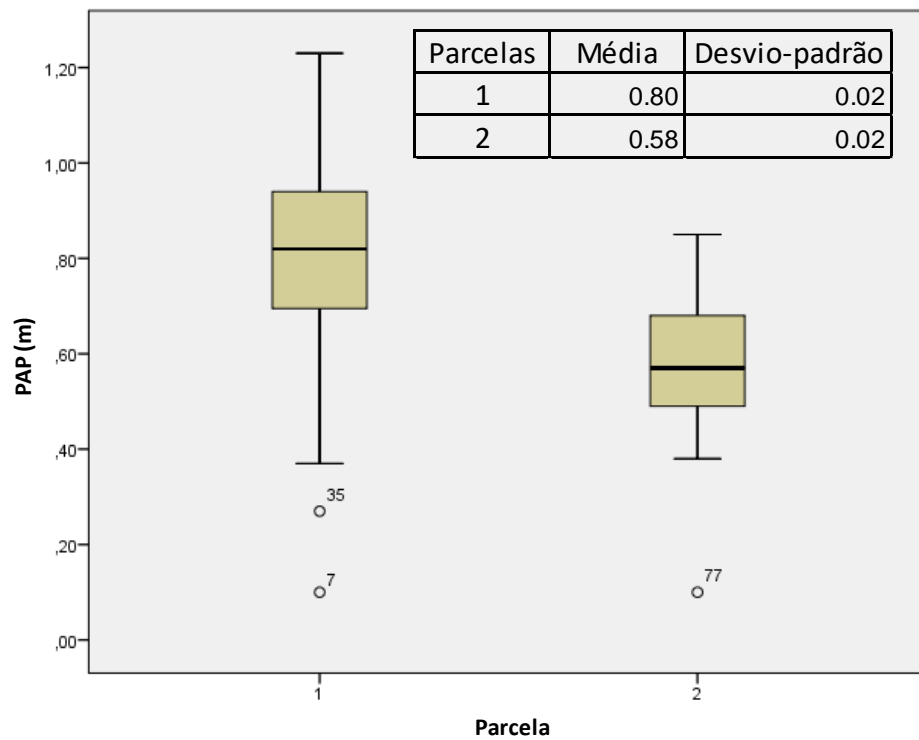


Figura 26 - Teste de Mann-Whitney para o PAP

A Altura do fuste não tem distribuição normal em nenhuma das parcelas, pelo que foi usado o teste Mann-Whitney U para testar a existência de diferenças significativas entre as duas parcelas. Comprovou-se (Mann-Whitney $U=723,0$; $z=-3,853$; $p\text{-value}=0,000$) que a parcela 1 tem valores da Altura do fuste significativamente superiores aos da parcela 2 (Figura 27).

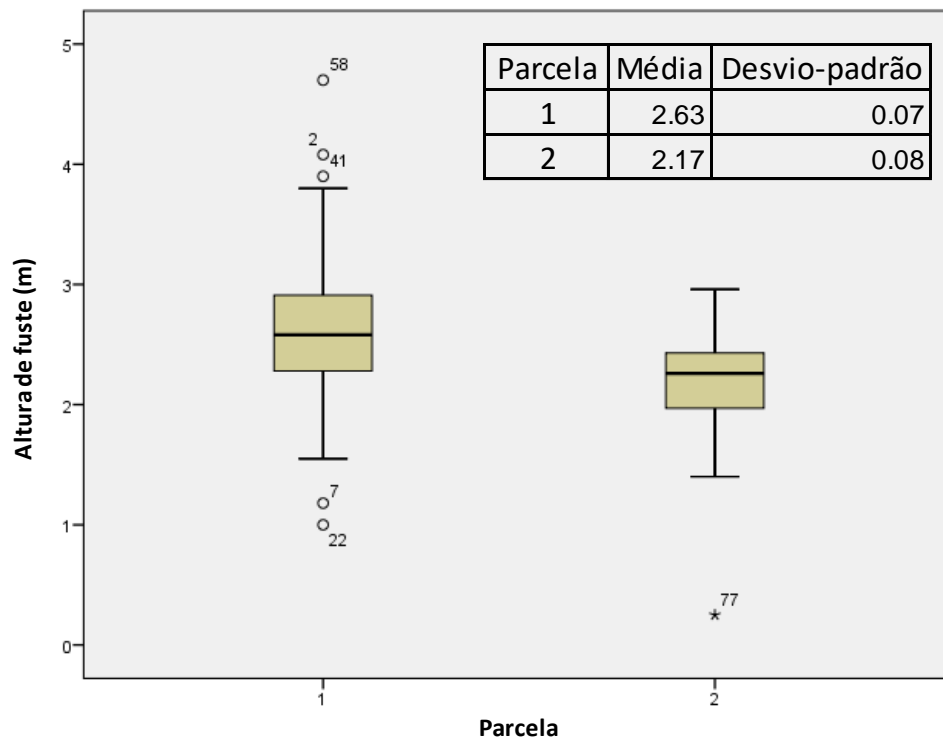


Figura 27 - Teste de Mann-Whitney para a Altura de fuste

A Área da copa na Parcela 1 não tem distribuição normal, pelo que foi usado o teste Mann-Whitney U para testar a existência de diferenças significativas entre as duas parcelas. Comprovou-se (Mann-Whitney U=138,5; $z=-7,563$; $p\text{-value}=0,000$) que a parcela 1 tem valores da Área da copa significativamente superiores aos da parcela 2 (Figura 28).

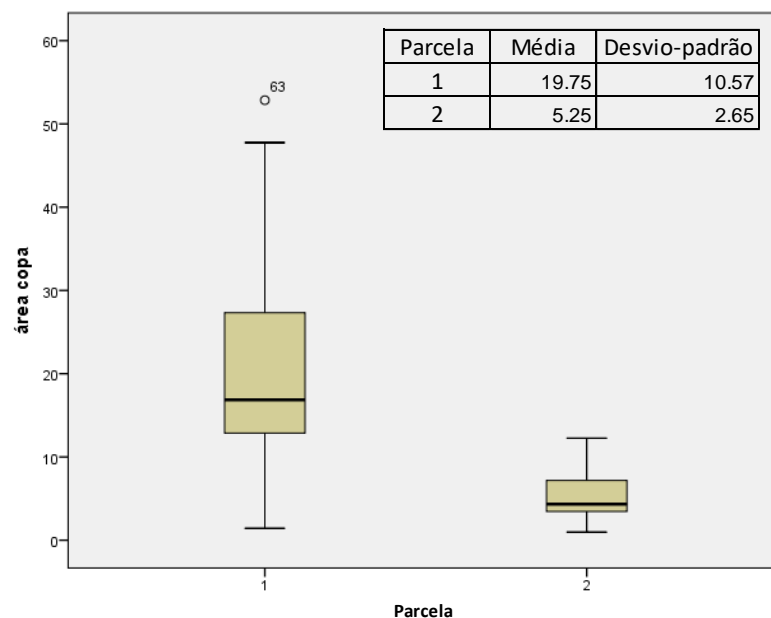


Figura 28 - Teste de Mann-Whitney para a AC

A Biomassa total da Parcela 1 não tem distribuição normal, pelo que foi usado o teste Mann-Whitney U para testar a existência de diferenças significativas entre as duas parcelas. Comprovou-se (Mann-Whitney $U=434,0$; $z=-5,687$; $p\text{-value}=0,000$) que a parcela 1 tem valores da Biomassa total significativamente superiores aos da parcela 2 (Figura 29).

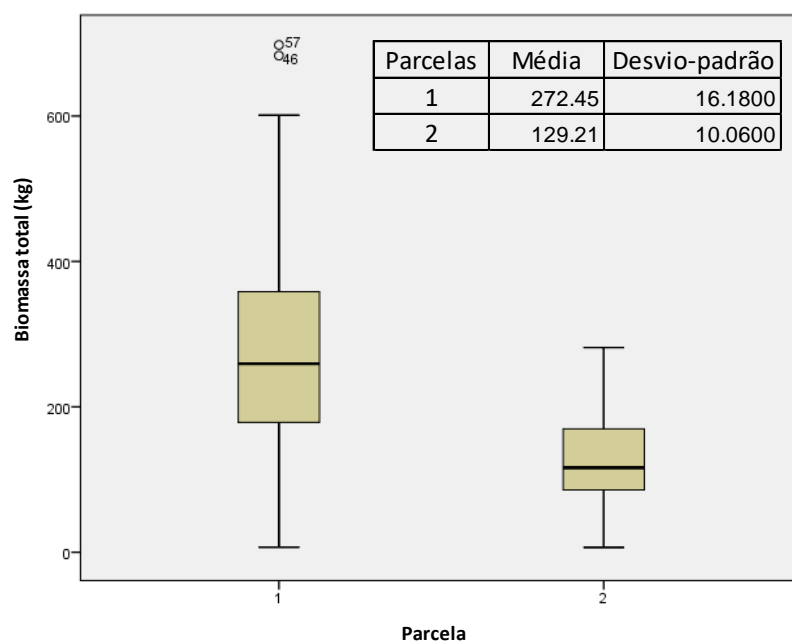


Figura 29 - Teste de Mann-Whitney para a Biomassa total

Assim verificou-se que, em relação a todos os parâmetros dendrométricos, há diferenças significativas entre as duas parcelas, estando os valores mais elevados sempre associados à Parcela 1.

5. Considerações finais

Natividade (1950) refere que a zona de prosperidade do sobreiro se situa entre 600 e 800 mm de Precipitação Anual e Temperatura Média Anual entre 15 e 19°C. Assim, a zona de estudo, com precipitação anual de 656 mm e Temperatura Média Anual de 16 °C, corresponde a uma zona boa para o desenvolvimento da espécie.

No entanto, verifica-se que o desenvolvimento do montado não é uniforme em toda a zona de estudo.

Foi verificado, no presente trabalho, que as condições na parcela 2 não são favoráveis para o desenvolvimento dos sobreiros existindo uma menor densidade de árvores e um crescimento mais lento e irregular, ao contrário da parcela 1, onde as árvores crescem saudáveis e com densidade muito superior.

Em termos climáticos não haverá diferenças entre as duas parcelas, pois distam apenas 300 m uma da outra. A explicação residirá, muito possivelmente, nas diferenças a nível edáfico. A carta de solos revela que o tipo de solo é o mesmo nas duas parcelas. No entanto, a escala desta carta (1:25 000) não permite mostrar pormenores a nível local, resultantes, por exemplo, de diferenças a nível topográfico, como poderá ser o caso da área de estudo. De facto, há uma relação importante solo-relevo, o que se traduz em toposequências ou catenas. Nota-se, na fotografia aérea, que, ao longo da encosta, a densidade do povoamento diminui. Assim, para a compreensão das diferenças a nível do montado nas duas parcelas dever-se-á fazer um estudo mais aprofundado dos solos ao longo da área de estudo.

Eventualmente poderá ocorrer uma camada dura no solo (imperme) que dificulte o desenvolvimento das raízes das árvores na parcela 2 e, consequentemente, todo o seu crescimento. De facto, o desenvolvimento desta camada é mais frequente em zonas baixas onde há maior alagamento.

Outra explicação possível para as diferenças de densidade em ambas as parcelas deve-se à possível acumulação de material argiloso no final da encosta, onde a parcela 2 se encontra inserida. O elevado poder de retenção da água dos solos argilosos, aliado à existência de camadas compactadas ou com uma proporção muito elevada de materiais finos, pode contribuir para a formação de horizontes impermees ou plásticos, sobretudo durante o inverno, devido ao excesso de humidade. Os impermees levam à criação de ambientes desfavoráveis, anaeróbios, e dificultam a expansão das raízes das plantas (Ramalho e Pinheiro., 1999).

O tipo de solo, argiloso, permite a subida de água ao longo do perfil do solo, ou seja, a perda de água não afeta só as camadas mais superficiais, mas também as mais profundas.

A preparação do terreno para a plantação foi efetuada em vala e combro. Ou seja, à topografia natural do terreno é adicionada uma micro-topografia. Este facto é visível na imagem da altimetria fornecida pelo drone. A técnica de vala e combro, em curva de nível, permite a retenção de água e matéria orgânica para acelerar o desenvolvimento das plantas. Este facto poderá ter introduzido algum ruído nos dados fornecidos pelas sondas. Pode eventualmente a sonda 1 ter sido instalada num local de maior retenção de água em comparação com a sonda 2. Este facto explicaria os resultados da humidade que revelam valores mais elevados para a sonda na parcela 1, apesar de esta sonda estar situada numa encosta e a parcela 2 numa zona mais plana.

Por outro lado, o facto de o coberto arbóreo ser praticamente fechado na parcela 1 e muito aberto na parcela 2 vai proporcionar diferentes condições microclimáticas no interior do povoamento, nomeadamente a nível da temperatura e humidade do solo. Ou seja, a sonda 1 está em situação de sombra, o que conduz a menores valores da temperatura do solo, logo de menor perda de água por evaporação. Por outro lado, o solo onde a sonda 2 está instalada recebe radiação solar direta, o que leva a um grande aquecimento e consequentemente a grande perda de água por evaporação.

Assim, atualmente, além da eventual influência da topografia no desenvolvimento das árvores, as características do próprio povoamento poderão ter influência na humidade edáfica.

O volume de cortiça produzido na parcela 1 é elevado, o que confirma que o montado pode ter densidade elevada sem comprometer a produção de cortiça. O território suberícola Português é caracterizado por uma subexploração dos povoamentos de sobreiro (Ramalho e Pinheiro, 1999). O presente estudo confirma que valores de densidade elevados são

compatíveis com produção de cortiça elevada. O que de facto influencia de forma negativa o desenvolvimento dos sobreiros parecem ser fatores edáficos.

O presente trabalho não conseguiu dar uma resposta segura a este problema, pelo que será muito importante futuros trabalhos tentarem aprofundar estas questões.

Entre as sugestões para trabalhos futuros destaca-se uma análise aprofundada dos solos da encosta e uma análise da situação radicular, especialmente na parcela 2, comprovando assim a relação entre os fatores edáficos e o sistema radicular do sobreiro.

6. Referências bibliográficas

- Branco, O; Bugalho, M; Neves Silva, L; Barreira, R; Vaz, P; Dias, F.; (2010). Hotspot Areas for Biodiversity and Ecosystem Services in *Montados*, Relatório da World Wildlife Fund/ Centro de Ecologia Aplicada Prof. Baeta Neves.
- Bugalho, M. (2009). Assessing Socioeconomic Benefits of Natura 2000 – a Case Study on the ecosystem service provided by the Natural Park of Vale do Guadiana (Portugal). Output of the project Financing Natura 2000: Cost estimate and benefits of Natura 2000 (Contract No.: 070307/2007/484403/MAR/B2). 20 pp
- Contreras, V.& Borges, P.; (2007). Nuevos materiales para el control de la erosión tras los incendios forestales. 4th International Wildland Fire Conference, Sevilha, Espanha; 14 a 17 de maio de 2007.
- Copernicus (nd). Impact of Copernicus; acedido em <https://www.Copernicus.eu/en/about-Copernicus/impact-Copernicus> (19/05/2019).
- Costa, A. & Pereira, C. (2007). Manual de Instalação de Novos Povoamentos com Sobreiro. Aplicação de Boas Práticas nas Regiões da Chamusca e de Alcácer do Sal. ISA, ERENA, ANSUB, ACHAR, Lisboa.
- Costa, A.; Pereira, H. 2007. Montados e sobreiros: uma espécie, duas perspetivas in Os Montados - Muito para além das árvores. Silva, J. S. Público/Fundação Luso-Americana para o Desenvolvimento/Liga para a Protecção da Natureza.
- Das, N., & Mohanty, B., (2006). Root Zone Soil Moisture Assessment Using Remote Sensing and Vadose Zone Modeling. Vadose Zone J. 5:296-307. doi:10.2136/vzj2005.0033.
- David, T. (2014) Estratégias de uso de água em sobreiros adultos. Relevância para a gestão. 4º Encontro REDECOR, Oeiras, 26 de novembro 2014.
- David, T. S.; Pinto, Clara. (2015). A importância das raízes das árvores dos montados. Estratégias de uso de água. Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária I.P.; Workshop Grândola.
- David, T. S.; Pinto, Clara.; Nadezhkina, N; David, J. (2017). Estrutura e funcionamento das raízes em sobreiro: o uso de água, Vida Rural páginas 28–30, abril 2007.
- Dinis C. (2014). Cork Oak (*Quercus suber* L.): A Structural-Functional 3D Approach. Tese de Doutoramento. Universidade de Évora
- Earth Observatory, (2000). NASA, Measuring Vegetation, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) acedido em: https://earthobservatory.nasa.gov/features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_2.php (20/06/2019).
- EnviroPro (2017). EnviroPro Soil Probes; acedido em: <https://www.enviropsoilprobes.com/>, (30/06/2019).

- ERENA, Associação de Defesa do Património de Mértola, Associação de Produtores Florestais da Serra do Caldeirão, In Loco, Centro de Ecologia Aplicada Baeta Neves. (2008). Gestão e Conservação de Sobreirais Serranos: O Caso da Serra do Caldeirão.
- ESA - European Space Agency (2019). Sentinel Online/ Overview; acedido em <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/overview> (19/05/2019).
- ESA - European Space Agency (2019). Sentinel Online/ Resolution; acedido em: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/resolutions> (19/05/2019).
- ESA - European Space Agency (2019). Sentinel Online/ Spatial Resolution; acedido em: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/resolutions/spatial> (20/05/2019).
- Faias, S. (2009). Analysis of Biomass Expansion Factors for the most important tree species in Portugal. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Florestal e dos Recursos Naturais no Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa.
- Gomes, D. (2018). Exploração da utilização de dados de observação da Terra para deteção de utilizações ilegais de água no sector agrícola – experiências em Portugal e Espanha. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente – Perfil de Sistemas Ambientais, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.
- Houser, P., Shuttleworth, W., Famiglietti, J., & Goodrich, D., (1998). Integration of soil moisture remote sensing and hydrologic modeling using data assimilation, *Water Resources Research*, 34(12), 3405–3420, <https://doi.org/10.1029/1998WR900001>.
- ICNF (2009) - Instruções para o Trabalho de Campo do Inventário Florestal Nacional. Lisboa. Portugal. 67 pp.
- ICNF - Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (2010). 5º Inventário Florestal Nacional 2005-2006. Relatório Final. Autoridade Florestal Nacional, Lisboa, 2010.
- ICNF - Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (2013). 6º Inventário Florestal Nacional – Áreas dos usos do solo e das espécies florestais de Portugal continental. Resultados preliminares, 34 pp, Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas. Lisboa.
- IDMP - Integrated Drought Management Programme (2018); Online Drought Indicators and Indices, Soil Adjusted Vegetation Index; acedido em: <http://www.droughtmanagement.info/soil-adjusted-vegetation-index-savi/> (20/07/2019).
- Irristrat (2017). Irristrat; disponível em: <https://2018.irristrat.com/login.php?url=/home.php>, acedido em 30/06/2019.
- Kaltenbach, T. (2007). The decline of Cork oak (*Quercus suber*) and Holm oak (*Q. ilex /rotundifolia*) in South Western Portugal, Tese para obtenção de diploma no Department of Forestry na Highschool of Applied Science and Art, Göttingen, Alemanha.
- Kaspar, T. & Bland, W. (1992). Soil Temperature and Root Growth; *Soil Science*, Vol 154. No.4
- Kätterer, T.; Fabião, A.; Madeira, M.; Ribeiro, C.; Steen, E.; (1995). Fine-root dynamics, soil moisture and soil carbon content in a *Eucalyptus globulus* plantation under different irrigation and fertilisation regimes; *Forest Ecology and Management* Volume 74, Issues 1–3, June 1995, Pages 1-12.
- Korhonen, L., Hadi, Packalen, P., Rautiainen, M. 2017. Comparison of Sentinel-2 and Landsat 8 in the estimation of boreal forest canopy cover and leaf area index. *Remote Sensing of the Environment*, 195: 259-274.
- McMichael, B. & Burke, J. (1998). Soil Temperature and Root Growth, *Journal of the American Society for Horticultural Science*.

- Município de Redondo (2018), Serra d'Ossa, acedido em: <http://www.cm-redondo.pt/pt/site-viver/Ambiente/Fauna%20e%20Flora/Paginas/Serra-D'Ossa.aspx> (08/05/2019).
- Natividade, J. (1950) Subcultura, Ministério da Economia, Direção Geral dos Serviços Florestais e Aquícolas, Lisboa
- Padilla, F., Pugnaire, F., (2007). Rooting depth and soil moisture control Mediterranean woody seedling survival during drought, (Ipcc 2001), 489–495. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2007.01267.x>.
- Pereira, J. (2011). Gestão Florestal Sustentável – o sequestro de carbono. 3ª Conferência Internacional do Montado e da Cortiça, Vendas Novas, 20 de maio de 2011.
- Pinto, Clara. (2013). Responses of cork oak and holm oak to environmental constraints. Avoiding and/or tolerating drought. Tese apresentada para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Florestal e dos Recursos Naturais, Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.
- Pinto, Clara.; David, T. S.; Nadezhdina, N.; David, J.; Caldeira, M.; Besson, C. (2013). Análise do funcionamento dos sistemas radiculares de sobreiro. Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária I.P.; Workshop Grândola.
- Pinto-Correia, T.; Barroso, F.; Surová, D.; Menezes, H. (2011). The fuzziness of Montado landscapes: Progress in assessing user preferences through photo-based surveys. *Agroforestry Systems*, 82(2), 209–224. <https://doi.org/10.1007/s10457-010-9347-2>.
- Pinto-Correia, T.; Ribeiro, N.; Potes, J. (2013). Livro Verde dos Montados, (January 2016), 61. Acedido em: <http://www.icaam.uevora.pt/Noticias-e-Informacoes/Temas-e-Eventos-Arquivo/Livro-Verde-dos-Montados>.
- Pinto-Correia, T.; Ribeiro, N.; Sá-Sousa, P. (2011). Introducing the montado, the cork and holm oak agroforestry system of Southern Portugal. *Agroforestry Systems*, 82(2), 99–104. <https://doi.org/10.1007/s10457-011-9388-1>.
- Potes, M. (2008). Climatologia e qualidade da água da bacia hidrográfica do Guadiana. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Ciências da Terra, da Atmosfera e do Espaço, área de especialização em Física da Atmosfera e do Clima, Universidade de Évora.
- Ramalho, M., Pinheiro, A., 1999. Identificação de algumas variáveis que influenciam quantitativa e qualitativamente a produção de cortiça, *Revista Economia e Sociologia*, 67:181-204. *Estudios de Economia*.
- Ribas, T. (2011) Payments for Environmental Services as policy tool for conserving the Portuguese Montado Ecosystem, Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Ecologia, Universidade de Coimbra.
- Ribeiro, N. & Surov, P. (2008). Inventário nacional de mortalidade de sobreiro na fotografia aérea digital de 2004/2006, 1–79.
- Rocha, F., Pereira, G., Farinha, N., & Carneiro, J. (2014). Prospeção e colheita de populações autóctones de espécies forrageiras, aromáticas e medicinais, ornamentais e leguminosas para grão na Região do Alentejo, (Abril 2013).
- Rodrigues, T.; (1999). Detecção remota por satélite de matos mediterrânicos de cistáceas. Dissertação para obtenção do Grau de Doutor em Ciências do Ambiente, na especialidade de Sistemas Naturais, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.
- Rubel, F., and M. Kottek, 2010: Observed and projected climate shifts 1901-2100 depicted by world maps of the Köppen-Geiger climate classification. *Meteorol. Z.*, 19, 135-141. doi: 10.1127/0941-2948/2010/0430, acedido em: <http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/> (20/07/2019).
- Science Hub, 2014: Copernicus Open Access Hub. acedido em: <https://scihub.copernicus.eu/>

- Schymanski, S., Sivapalan, M., Roderick, M., Beringer, J., & Hutley, L., (2008): An optimality-based model of the coupled soil moisture and root dynamics, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 12, 913-932, <https://doi.org/10.5194/hess-12-913-2008>.
- Sriboon, W., Tuntiwaranuruk, U., & Sanoamuang, N. (2017). Case Studies in Thermal Engineering Hourly soil temperature and moisture content variations within a concrete pipe container for planting lime trees in Eastern Thailand. *Case Studies in Thermal Engineering*, 10(June), 192–198. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2017.06.005>
- Surová, D., & Pinto-Correia, T. (2008). Landscape preferences in the cork oak Montado region of Alentejo, southern Portugal: Searching for valuable landscape characteristics for different user groups. *Landscape Research*, 33(3), 311–330. <https://doi.org/10.1080/01426390802045962>
- Tenhunen, J.; Geyer, R.; Banza, J.; Besson, C.; Carreiras, J.; Dinh, NQ.; Herd, A.; Mirzae, H.; Otieno, D.; Owen, K.; Pereira, J.; Reichstein, M.; Ribeiro, N.; Schmidt, M.; Wenigmann, M.; Xiao, X.; (2009) Assessing Ecology, Vulnerability and Ecosystem Services of Mediterranean Oak Woodlands.
- Tomé, M. (2007) - Inventariação de recursos florestais. Introdução à inventariação e monitorização de recursos florestais (Volume I). Universidade Técnica de Lisboa - Instituto Superior de Agronomia. Centro de Estudos Florestais. Lisboa. 43 pp.).
- Vidal, A. & Devaux-Ros, C. (1995). Evaluating forest fire hazard with a Landsat TM derived water stress index, *Agricultural and Forest Meteorology*. [https://doi.org/10.1016/0168-1923\(95\)02262-V](https://doi.org/10.1016/0168-1923(95)02262-V)
- Wildung, R.; Garland, T.; Buschbom, R.; (1975) The interdependent effects of soil temperature and water content on soil respiration rate and plant root decomposition in arid grassland soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 7 (6), :373-378, ISSN 0038-0717.

Anexo

Tabela 6 - Dados dendrométricos

Parcela	Árvore	PAP (m)	Hf (m)	Área copa	Biomassa total (kg)
1	1	0,72	2,40	21,64	192,89
1	2	0,85	4,08	12,88	282,69
1	3	0,60	1,90	5,51	129,78
1	4	0,60	3,20	12,56	130,25
1	5	0,48	2,60	8,04	82,72
1	6	0,77	2,66	11,34	224,48
1	7	0,10	1,18	1,43	6,82
1	8	0,82	2,04	22,47	259,15
1	9	0,85	2,37	31,16	281,89
1	10	0,87	2,67	42,99	297,82
1	11	0,91	3,17	9,89	331,50
1	12	1,04	2,70	35,77	457,95
1	13	0,96	2,28	8,81	376,53
1	14	0,74	3,03	16,25	205,34
1	15	0,64	2,50	18,09	149,07
1	16	1,03	2,61	27,79	447,15
1	17	1,10	2,17	33,17	526,11
1	18	0,83	2,49	17,71	266,70
1	19	0,70	2,40	19,63	181,19
1	20	0,76	2,69	27,33	217,93
1	21	0,96	2,57	26,41	376,63
1	22	0,74	1,00	15,41	204,77
1	23	0,88	2,70	12,88	305,97
1	24	0,74	3,04	8,81	205,34
1	25	0,83	2,17	15,20	266,59
1	26	0,87	3,46	18,85	298,17
1	27	0,83	2,39	15,54	266,66
1	28	0,94	3,80	31,16	358,56
1	29	0,94	2,80	34,19	358,08
1	30	0,98	3,77	17,38	396,48
1	31	1,00	3,70	16,97	416,41
1	32	0,69	3,70	19,23	176,11
1	33	0,65	2,30	15,20	154,07
1	34	0,95	2,40	32,66	367,17
1	34	0,27	2,70	7,54	29,88
1	35	0,75	3,44	10,75	211,83
1	36	0,42	2,50	5,51	64,10
1	37	0,87	2,76	14,85	297,85
1	38	0,66	2,80	6,38	159,43

1	39	0,74	2,59	13,85	205,16
1	40	0,65	3,90	16,61	154,79
1	41	0,64	3,00	22,89	149,27
1	42	0,94	1,82	29,21	357,76
1	43	1,16	2,57	25,50	601,32
1	44	1,02	2,72	33,17	436,60
1	45	1,23	2,28	35,24	697,75
1	46	0,98	2,00	47,76	395,74
1	47	0,78	2,17	11,64	231,01
1	48	1,04	2,70	20,02	457,95
1	49	0,86	2,16	35,24	289,66
1	50	0,89	2,66	15,90	314,24
1	51	0,83	3,18	19,08	266,98
1	52	0,69	3,00	15,90	175,76
1	53	0,70	2,45	14,18	181,21
1	54	1,06	1,68	15,54	479,69
1	55	0,82	2,10	28,26	259,17
1	56	1,22	1,55	43,28	683,16
1	57	0,92	4,70	27,33	341,14
1	58	0,76	2,50	27,56	217,86
1	59	0,78	3,63	20,02	231,62
1	60	1,05	2,18	17,38	468,70
1	61	0,42	1,76	17,38	63,88
1	62	0,88	2,65	52,85	305,95
1	63	0,95	2,82	16,14	367,33
1	64	0,80	2,62	13,58	244,98
1	65	0,94	2,10	16,76	357,84
1	66	0,63	2,23	13,62	144,04
1	67	0,37	2,30	6,02	50,81
1	68	0,62	2,43	13,07	139,27
1	69	0,73	2,78	9,13	199,07
1	70	0,45	2,43	6,26	72,98
1	71	0,52	3,05	6,11	97,08
1	72	0,76	2,50	11,37	217,86
1	73	0,82	2,45	23,02	259,28
1	74	1,00	3,12	34,30	416,12
1	75	0,75	1,77	16,43	211,21
2	1	0,10	0,25	3,80	6,73
2	2	0,51	1,96	8,29	92,75
2	3	0,56	1,79	0,98	112,16
2	4	0,51	2,25	2,27	92,75
2	5	0,66	2,00	3,80	158,89
2	6	0,43	2,10	9,62	66,56

2	7	0,60	2,43	5,72	129,54
2	8	0,85	2,96	9,07	281,51
2	9	0,56	2,40	3,30	112,16
2	10	0,74	2,26	6,15	204,71
2	11	0,74	1,90	4,34	204,71
2	12	0,57	2,43	2,69	116,35
2	13	0,48	2,30	8,04	82,26
2	14	0,76	2,40	3,80	217,43
2	15	0,73	2,50	7,30	198,54
2	16	0,69	2,53	3,80	175,14
2	17	0,47	1,83	5,31	78,94
2	18	0,53	2,90	3,63	100,22
2	19	0,60	2,06	7,79	129,54
2	20	0,67	2,63	8,81	164,19
2	21	0,65	2,05	12,25	153,71
2	22	0,49	2,25	5,62	85,66
2	23	0,38	2,33	7,07	52,94
2	24	0,71	2,34	4,34	186,59
2	25	0,53	2,30	2,98	100,22
2	26	0,60	1,40	5,94	129,54
2	27	0,62	2,30	3,80	138,87
2	28	0,49	2,62	0,98	85,66
2	29	0,49	2,14	2,27	85,66
2	30	0,74	2,59	3,80	204,71
2	31	0,75	2,67	9,62	211,00
2	32	0,66	1,90	3,30	158,89
2	33	0,39	1,98	6,15	55,51
2	34	0,44	1,62	4,34	69,53
2	35	0,47	1,65	2,69	78,94